



Fraunhofer
INT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR NATURWISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE TRENDANALYSEN

Miloš Jovanović

Fußspuren in der Publikationslandschaft

Einordnung wissenschaftlicher Themen und Technologien in grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung mithilfe bibliometrischer Methoden



FRAUNHOFER VERLAG

Fraunhofer-Institut für
Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen

Fußspuren in der Publikationslandschaft

Einordnung wissenschaftlicher Themen und Technologien in
grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung mithilfe
bibliometrischer Methoden

von Miloš Jovanović

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für
Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen
Appelsgarten 2
53879 Euskirchen
Telefon 02 251 18-0
Telefax 02 251 18-277
E-Mail info@int.fraunhofer.de
www.int.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.
ISBN: 978-3-8396-0316-1

D 61

Zugl.: Düsseldorf, Univ., Diss., 2011

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2011

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Telefax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Fußspuren in der Publikationslandschaft

**Einordnung wissenschaftlicher Themen und Technologien in
grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung mithilfe
bibliometrischer Methoden**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des akademischen
Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. phil)
durch die Philosophische Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Miloš Jovanović M.A. aus Wuppertal

Gutachter:
Univ.-Prof. Dr. Wolfgang G. Stock
Univ.-Prof. Dr. Christian Schlögl

Tag der mündlichen Promotionsleistung: 10. Juni 2011

D61

Gewidmet meiner Familie und in liebender Erinnerung an
meinen Großvater Aleksandar Manić (1921-2011)...

„Est modus in rebus.“ („Es gibt ein Maß in den Dingen.“)

– *Horaz, römischer Dichter (65-8 v. Chr.)*

„Durch Messen zum Wissen.“

– *Heike K. Onnes, Entdecker der Supraleitung (1853-1926)*

„Nicht alles was zählt, kann gezählt werden, und nicht alles was
gezählt werden kann, zählt!“

– *Albert Einstein (1879-1955)*

„Eine Entdeckung besteht darin, etwas zu sehen, was jedermann
gesehen hat, und sich dabei etwas zu denken, was noch niemand
gedacht hat.“

– *Albert von Szent-Györgi, Biochemiker und Nobelpreisträger
(1893-1986)*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Zusammenfassung – Executive Summary	1
2 Einleitung	5
3 Hintergrund	15
3.1 Bibliometrie, Informetrie und Patentometrie	15
3.2 Datenquellen	18
3.2.1 Web of Science	18
3.2.2 Derwent Innovations Index	22
3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse	23
3.3.1 Wissenschaftliche Publikationen und ihre Zitationen als Quellen bibliometrischer Analysen	27
3.3.2 Patente als Quellen bibliometrischer Analysen	43
4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden	47
4.1 Theoretische Grundlagen – Stand der Forschung	47
4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse	56
4.2.1 Genesisartikel	57
4.2.2 Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes	66
4.2.3 Bibliometrische Patentanalyse und Analyse der Zitationen auf Nicht-Patent-Literatur	67
4.2.4 Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes	82

Inhaltsverzeichnis

4.2.5	Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen	83
4.2.6	Die Subject-Area Quadrant-Allocation	88
4.2.7	Vergleich mit bekannten Mustern	116
5	Resultate der Footprintanalyse	121
5.1	Evaluierung der Footprintanalyse	121
5.1.1	Fallstudie zum Thema „Stringtheorie“	121
5.1.2	Fallstudie zum Thema „Biodiesel“	129
5.1.3	Fallstudie zum Thema „Rastertunnelmikroskop“	138
5.2	Footprintanalysen zu aktuellen Themen	147
5.2.1	Fallstudie zum Thema „Autonom selbstheilende Werkstoffe“	148
5.2.2	Fallstudie zum Thema „Metamaterialien“	157
5.2.3	Fallstudie zum Thema „Sphärische Fullerene“	170
6	Diskussion der Footprintanalyse	185
7	Fazit und Ausblick	193
	Literaturverzeichnis	201
	Danksagung	220
	Kurzer Lebenslauf des Autors	221

Abbildungsverzeichnis

2.1	Zahl der Gründungen wissenschaftlicher Zeitschriften und Abstract-Zeitschriften im Zeitraum 1665 bis 2000	8
2.2	Anzahl der Patentanmeldungen in neun Ländern (1883-2005)	9
3.1	Unterteilung der Informatik nach Stock und Weber	15
3.2	Sphärenmodell zur Unterteilung der Informatik	16
3.3	Verteilung von Zitationen auf Publikationen aus der Zeitschrift „Nature“	31
4.1	Beispieleinträge aus dem Institutionsthesaurus	85
4.2	Einfaches Modell zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung	92
4.3	Lineares Modell des Technologie-Transfers	92
4.4	Einteilung der Grundlagen- und angewandten Forschung	94
4.5	Pasteur im einfachen Modell	104
4.6	Quadranten-Modell nach Stokes	106
4.7	Experteneinteilung einiger Subject Areas nach Quadranten	109
4.8	Beispiel eines Double-Boom-Zyklus	116
5.1	Wachstumskurven zum Thema Stringtheorie.	123
5.2	Entwicklung der publizierenden Institutionstypen – Stringtheorie	126
5.3	Zitationsdatensatz SAQA – Stringtheorie	127
5.4	Suchanfragedatensatz SAQA – Stringtheorie	128
5.5	Wachstumskurven zum Thema Biodiesel.	132
5.6	Entwicklung der publizierenden Institutionstypen – Biodiesel	135
5.7	Suchanfragedatensatz SAQA – Biodiesel	136
5.8	Wachstumskurven des Themas Biodiesel bei Järvenpää u. a. (2010)	137
5.9	Wachstumskurven zum Thema Rastertunnelmikroskop.	141
5.10	Entwicklung der publizierenden Institutionstypen – Rastertunnelmikroskop	144
5.11	Zitationsdatensatz SAQA – Rastertunnelmikroskop	145
5.12	Suchanfragedatensatz SAQA – Rastertunnelmikroskop	146
5.13	Wachstumskurven zum Thema autonom selbstheilende Werkstoffe	151
5.14	Entwicklung der publizierenden Institutionstypen – Autonom selbstheilende Werkstoffe	154
5.15	Zitationsdatensatz SAQA – Autonom selbstheilende Werkstoffe	155
5.16	Suchanfragedatensatz SAQA – Autonom selbstheilende Werkstoffe	156
5.17	Modellhafte Darstellung negativer und positiver Brechung	158

Abbildungsverzeichnis

5.18	Illustration eines negativen Bruchindexes	159
5.19	Wachstumskurven zum Thema Metamaterialien	161
5.20	Entwicklung der publizierenden Institutionstypen – Metamaterialien	166
5.21	Zitationsdatensatz SAQA – Metamaterialien	167
5.22	Suchanfragedatensatz SAQA – Metamaterialien	168
5.23	Aufbau eines Buckminsterfullerens verglichen mit der Form eines Fußballs .	172
5.24	Wachstumskurven zum Thema sphärische Fullerene.	174
5.25	Entwicklung der publizierenden Institutionstypen – Sphärische Fullerene .	179
5.26	Zitationsdatensatz SAQA – Sphärische Fullerene	180
5.27	Suchanfragedatensatz SAQA – Sphärische Fullerene	181
5.28	Anzahl englischsprachiger Forschungsartikel zu den Themen Fullerene, Nanoröhren und Graphene	183

Tabellenverzeichnis

4.1	Übersicht der Ergebnisse der Studie von Callaert u. a. (2006)	73
4.2	Übersicht der Ergebnisse der Studie von van Looy u. a. (2003)	74
4.3	Übersicht der Ergebnisse der Studie von Michel u. Bettels (2001)	74
4.4	Übersicht der Ergebnisse der Studie von Schmoch (1997)	76
4.5	Tabelle der Subject Areas in Edisons Quadranten	110
4.6	Tabelle der Subject Areas in Pasteurs Quadranten	111
4.7	Tabelle der Subject Areas in Bohrs Quadranten	112
5.1	Tabelle der Schlagwörter für das Thema Stringtheorie	124
5.2	Analyse der NPL-Zitationen – Biodiesel	133
5.3	Tabelle der Schlagwörter für das Thema Rastertunnelmikroskop	140
5.4	Analyse der NPL-Zitationen – Rastertunnelmikroskop	142
5.5	Tabelle der Schlagwörter für das Thema autonom selbstheilende Werkstoffe	150
5.6	Analyse der NPL-Zitationen – Autonom selbstheilende Werkstoffe	152
5.7	Tabelle der Schlagwörter für das Thema Metamaterialien	162
5.8	Analyse der NPL-Zitationen – Metamaterialien	164
5.9	Tabelle der Schlagwörter für das Thema Fullerene	175
5.10	Analyse der NPL-Zitationen – Sphärische Fullerene	177
7.1	Übersicht über die Profile der Evaluation der Footprintanalyse	194
7.2	Übersicht über die Profile der Footprintanalysen zu aktuellen Themen	196

Abkürzungsverzeichnis

ISSN International Standard Serial Number

NPL Nicht-Patent-Literatur

NPR Non-Patent-References

PL Patentliteratur

SAQA Subject-Area Quadrant-Allocation

1 Zusammenfassung – Executive Summary

Hintergrund:

Die vorliegende Dissertation ist im Bereich der Informationswissenschaft und dort wiederum in der Bibliometrie beheimatet. Bibliometrische Methoden beschäftigen sich unter anderem mit der Vorausschau zukünftiger wissenschaftlicher Themen und Technologien auf der Basis quantitativer Analysen. Für Entscheidungsträger in Forschungsabteilungen von Unternehmen und wissenschaftlichen Institutionen ist eine fundierte Planung zukünftiger Forschungsvorhaben von großer Bedeutung. Diese Planung wird meist von Fachleuten aus den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen durchgeführt. Dabei handelt es sich also meist um eine rein qualitative Einschätzung.

Zielsetzung:

Die in dieser Arbeit entwickelte Footprintanalyse ergänzt solche qualitativen Methoden der Einordnung wissenschaftlicher Themen und Technologien um quantitative Methoden. Dabei wurde für jedes untersuchte Thema ein Profil erstellt, welches auf die unterschiedlichen bibliometrischen Aspekte der Analyse eingeht. Ein solches Profil stellt für jedes Thema eine Einordnung in grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung dar und ermöglicht damit eine Empfehlung für Entscheidungsträger.

Datensätze und Methoden:

In dieser Arbeit wurden folgende Datensätze und Methoden genutzt und angewandt:

- Genesisartikel, bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes und Schlagwortanalyse: Nach Auswahl eines sogenannten Genesisartikels, welcher die Grundlage des jeweils untersuchten Themas darstellt, wird ein Datensatz zusammengestellt. Dieser besteht aus allen nachweisbaren Publikationen, die den Genesisartikel zitiert haben.

1 Zusammenfassung – Executive Summary

Auf diesen Datensatz werden bibliometrische Methoden der Zitationsanalyse angewandt. Der Verlauf der Wachstumskurve dieses Datensatzes gibt einen ersten Hinweis auf die Aktualität des Themas. Eine Analyse der Schlagwörter ermöglicht die Erstellung einer Suchanfrage für die wissenschaftliche Zitationsdatenbank Web of Science und die Patentdatenbank Derwent Innovations Index.

- Bibliometrische Patentanalyse und Analyse der Zitationen auf Nicht-Patent-Literatur (NPL): Die Wachstumskurve des Patentdatensatzes wird ähnlich wie jene des Zitationsdatensatzes analysiert. Die Analyse der NPL-Zitationen zeigt die Wissenschaftsbindung (Science Linkage) des Themas an.
- Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes: Der Suchanfragedatensatz besteht aus wissenschaftlichen Publikationen im Web of Science und wird ähnlich analysiert wie bereits zuvor Zitations- und Patentdatensatz.
- Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen: Mithilfe eines Institutionsthesaurus und Softwaretools werden die publizierenden Institutionen des Zitations- und Suchanfragedatensatzes in Kategorien eingeordnet und zu Gruppen zusammengefasst. Diese Gruppen teilen sich auf nach Grundlagen-, Anwendungs- oder gemischter Orientierung. Analysiert wird der Anteil der verschiedenen Gruppen am gesamten Publikationsaufkommen über die Jahre.
- Subject-Area Quadrant-Allocation (SAQA): Die Subject Areas jeder Publikation des Zitations- und Suchanfragedatensatzes werden, basierend auf einer Befragung von Wissenschaftlern, in einen von vier Quadranten eingeordnet. Diese Quadranten werden einem Forschungsfeld zugeordnet: Edisons Quadrant (angewandte Forschung); Bohrs Quadrant (Grundlagenforschung); Pasteurs Quadrant (gemischte Forschung); Petersons Quadrant (Hintergrundforschung). Für jedes Jahr wird nun berechnet, in welchem dieser vier Quadranten sich das untersuchte Thema befunden hat. Der Verlauf dieser Einordnung wird analysiert.
- Vergleich mit bekannten Mustern: Alle vorhergehenden Schritte werden auf die Frage hin analysiert, ob das Thema einem bekannten Muster folgt.

Resultate:

Sechs Forschungsthemen wurden in Form von Fallstudien untersucht. Die ersten drei Themen dienten zur Evaluierung der Footprintanalyse. Diese Themen wurden so gewählt, dass

ihre Entwicklung und Einordnung bereits vor der Analyse bekannt waren. Bei den darauffolgenden drei Themen war dies nicht der Fall. Aus diesem Grunde wurden sie „aktuelle Themen“ genannt, da sie im Laufe der Forschungsarbeit am Fraunhofer INT als neue Forschungsfelder identifiziert wurden. Die Fallstudien führten zu folgenden Ergebnissen:

- Fallstudie Stringtheorie: Dieses Forschungsthema ist eindeutig im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt. Es existieren kaum Patentfamilien. Es sind keine zukünftigen Anwendungen zu erwarten.
- Fallstudie Biodiesel: Dieses Forschungsthema ist eindeutig im Bereich der angewandten Forschung angesiedelt. Anwendungen wurden bereits realisiert.
- Fallstudie Rastertunnelmikroskop: Dieses Forschungsthema ist eindeutig im Bereich Grundlagen- und angewandte Forschung angesiedelt (Pasteurs Quadrant). Das Thema folgt einem schwachen Rosenberg-Muster.
- Fallstudie Autonom selbstheilende Werkstoffe: Es handelt sich hierbei um ein aktuelles und moderat wachsendes Forschungsthema. Sehr wenige Patentfamilien und eine niedrige Wissenschaftsbindung konnten beobachtet werden. Ein Trend in Richtung Edisons Quadranten ist nachweisbar. Das Thema wird zur Bearbeitung durch Forschungsgesellschaften empfohlen.
- Fallstudie Metamaterialien: Zitations- und Patentdatensatz wachsen moderat, der Suchanfragedatensatz dagegen stark. Eine hohe Wissenschaftsbindung und ein hoher Anteil publizierender, grundlagenorientierter Institutionen konnten beobachtet werden. Ein Trend in Richtung Edisons Quadranten ist nachweisbar. Vorsichtige Empfehlung zur Bearbeitung durch Forschungsgesellschaften, da bereits viele Patentfamilien vorhanden sind.
- Fallstudie Sphärische Fullerene: Zitations- und Suchanfragedatensatz wachsen nach einer langen Stagnationsphase wieder. Diese hält beim Patentdatensatz noch an. Eine hohe Wissenschaftsbindung und ein hoher Anteil publizierender, grundlagenorientierter Institutionen sind nachweisbar. Das Thema folgt einem Double-Boom-Zyklus. Empfehlung für Unternehmen, in den zweiten Boom des Themas einzusteigen.

Fazit:

Mithilfe der Footprintanalyse können Profile für verschiedene wissenschaftliche und technologische Themen erstellt werden. Diese Profile eignen sich dazu, qualitative Einschätzungen

1 Zusammenfassung – Executive Summary

von Fachwissenschaftlern zu ergänzen und dann als Hilfestellung für Entscheidungsträger in Forschungsabteilungen von Unternehmen und in wissenschaftlichen Institutionen zu dienen.

Nutzen für andere Felder:

Neben dem offensichtlichen Nutzen für die Bereiche der Bibliometrie und dort insbesondere der technologischen Vorausschau können die vorliegenden Methoden und Ergebnisse auch für Wissenschaftler und Praktiker im Bereich der Innovationsforschung und der Strategieplanung interessant sein.

2 Einleitung

Wie lassen sich das Potential einer neu entdeckten Technologie und ihre zukünftige Entwicklung zuverlässig voraussagen? Kann festgestellt werden, ob die Forschungsarbeiten noch mit den Grundlagen beschäftigt sind oder bereits eine Anwendung gefunden wurde? Prognosen über Technologien und ihre Zukunft sind in der Geschichte weit verbreitet. So findet sich im Internet häufig ein Zitat, dass auf ein internes Papier der Firma Western Union von 1876 zurückgehen soll:¹

„This 'telephone' has too many shortcomings to be seriously considered as a means of communication. The device is inherently of no value to us.“

Heute sind das Telefon und seine Weiterentwicklung, das allgegenwärtige Handy, aus einem Haushalt nicht wegzudenken. Passenderweise verabschiedete sich das Unternehmen Western Union im Jahr 1879 nach einem Rechtsstreit von dem Markt für Telefone. Eine weitere Prognose ist im Magazin „Der Spiegel“ überliefert. Es handelt sich hierbei um eine Schätzung von Thomas J. Watson, dem Chef von IBM, über den Bedarf an Computern (Spiegel, 1965, S. 59):

„IBM-Chef Thomas Watson hatte zunächst von den neuen Geräten nichts wissen wollen. Als in den frühen fünfziger Jahren die ersten Rechenungetüme für kommerzielle Nutzung auftauchten [...] schätzte Watson den Bedarf der US-Wirtschaft auf höchstens fünf Stück.“

Dass diese Zahl von fünf Computern bis heute um ein Vielfaches überschritten wurde, ist jedem bekannt. Es gibt weitere Beispiele für solche Fehlprognosen von Experten. Die Zukunft der Dampfschiffe, Atomkraftwerke, Flugzeuge, des Fernsehens und vieler anderer für uns heute selbstverständlicher Technologien sind von einigen Fachleuten falsch bewertet worden. Diese Experten verließen sich dabei meist auf ihr Wissen auf dem jeweiligen

¹Zum Beispiel zitiert bei: <http://www.permanent.com/quotes.htm> (abgerufen am 25. September 2010)

2 Einleitung

Fachgebiet, ihre Erfahrung und vielleicht ihren „guten Riecher“. Die vorliegende Dissertation möchte einen Beitrag dazu leisten, die Methoden zur technologischen Vorausschau um die hier entwickelte „Footprintanalyse“ (vom englischen Wort für „Fußspuren“, kurz FPA) zu ergänzen. Damit soll eine bessere und sachlich begründete Technologievorausschau² ermöglicht werden. Diese Analyse beinhaltet verschiedene quantitative und eine qualitative Methode.

Technologien von heute unterscheiden sich naturgemäß von denen, die beispielsweise noch vor 20 Jahren aktuell waren. Einige dieser früheren Technologien haben aber zumindest eine Gemeinsamkeit mit den heutigen: sie haben sich nach ähnlichen Mustern entwickelt. Werden diese Muster empirisch erkannt, können sie in der Innovationsforschung genutzt werden, um eine Aussage über zukünftige Technologien und Entdeckungen zu machen. Solche Voraussagen können einerseits qualitativer Natur sein. Dies bedeutet, dass sich Fachleute aus den jeweiligen wissenschaftlichen und technologischen Disziplinen Gedanken über die Zukunft ihres Fachs machen. Dabei greifen sie, wie weiter oben beschrieben, auf ihre und die Erfahrungen ihrer Kollegen zurück, um am Ende zu einer Einschätzung zu kommen, welche Technologien und wissenschaftlichen Entdeckungen der Gegenwart für zukünftige Entwicklungen wichtig sein könnten. Andererseits gibt es rein quantitative Methoden und die Möglichkeit, qualitative Analysen mit ihrer Hilfe zu unterstützen. Hierfür werden wissenschaftliche Publikationen, Patente und andere Veröffentlichungen sowie ihre Merkmale (zum Beispiel die Anzahl der Referenzen, das Fachgebiet der Zeitschrift, aus welcher die Veröffentlichung stammt etc.) analysiert, um ebenfalls zu einer Voraussage über mögliche zukünftige Entwicklungen zu gelangen. Der Vorteil solcher Voraussagen liegt in ihrem praktischen Nutzen, zum Beispiel für Unternehmen, Forschungsinstitutionen und Entscheidungsträger in Politik (zum Beispiel im Bereich der Forschungsförderung) und Wirtschaft (zum Beispiel in Forschungsabteilungen). Sie erleichtern die Planung von Forschungsvorhaben und können zu neuen Einblicken in die momentane Forschung führen. Weicht das Ergebnis einer Forschung von den Erwartungen ab, kann dies wertvolle Hinweise für ein Unternehmen oder ein Forschungsinstitut liefern (Knaf u. Heubach, 2008, S. 147-151). Die vorliegende Dissertation leistet einen Beitrag dazu, solche Voraussagen auf einer sicheren und nachvollziehbaren methodischen Basis durchzuführen.

Die quantitative Methode ist erst seit wenigen Jahrzehnten effektiv einsetzbar. Der Grund dafür ist, dass nicht nur der Umfang an neuen Informationen (also auch neuen Publikationen) jedes Jahr stark anwächst, sondern auch die Informationstechnologie Mög-

²In der Literatur werden die Begriffe „technologische Vorausschau“ und „Technologievorausschau“ oft synonym benutzt. In dieser Arbeit wird ebenso verfahren.

lichkeiten anbietet, diese Publikationen ausreichend schnell zu analysieren. Die große Masse von Informationen kann aber auch ein Problem darstellen. „Das weiß ich jetzt nicht genau. Schau in der Wikipedia oder bei Google nach!“ sind Sätze, die man heutzutage recht häufig in Gesprächen und Diskussionen zu hören bekommt, wenn einer der Gesprächspartner sich bei der Beantwortung einer Frage nicht ganz sicher ist, oder das eigene Fachwissen zur Beantwortung nicht ausreicht. Nachdem früher auf eine Enzyklopädie wie den Brockhaus verwiesen wurde, oder Aussagen von Kollegen hilfreich waren, kann heute einfach und vor allem sehr schnell auf Internetseiten nachgeschaut werden. Dies ist durch die starke Verbreitung von Computern und die Entwicklung von Internet und World Wide Web (WWW) möglich geworden, allerdings nur, dies sei der Vollständigkeit halber erwähnt, in weiten Teilen der westlichen Welt und in den Staaten der ehemaligen „zweiten Welt“ (den Staaten des ehemaligen Ostblocks). In Entwicklungsländern ist der Zugriff auf Informationen über das WWW nicht überall gewährleistet. Obwohl nur eine Minderheit der Weltbevölkerung (Modis, 2005 spricht von ca. 900 Millionen Menschen im Jahre 2005³) das Internet nutzt, wird in einschlägigen Lexika das aktuelle Zeitalter unter anderem „Informationszeitalter“ genannt (Meyers, 2007). Bereits vor dem Internet hat es Orte gegeben, an denen große Mengen von Informationen vorhanden waren, wie zum Beispiel in Bibliotheken oder Archiven. Diese Orte existieren auch heute noch, aber erst das Internet hat dazu geführt, dass man bequem vom Computer aus und zu jeder Zeit Zugriff auf diese Informationen hat. Die Anzahl der im Internet verfügbaren Daten hat sich seit dessen Entstehung explosionsartig vermehrt und ausgebreitet und damit zu einem Phänomen geführt, das mit den Begriffen „Literaturflut“, „Informationslawine“ oder „Wissensexplosion“ beschrieben wird. Dieses Phänomen war zwar bereits vorher ansatzweise vorhanden, wurde aber durch das Aufkommen des WWW noch verstärkt (Marx u. Gramm, 2002). Die Bändigung dieser Informationsflut ist eines der Beschäftigungsfelder der wissenschaftlichen Disziplin der „Informationswissenschaft“. Sie beschäftigt sich mit Daten und ihren „Trägern“ (zum Beispiel Büchern oder wissenschaftlichen Artikeln) sowie deren Analyse. Ein Teilbereich dieser Disziplin wiederum „misst“ verschiedene Gattungen von Informationen, wie zum Beispiel wissenschaftliche Literatur, wirtschaftliche Daten, Patente, Websites usw. Dieser Teilbereich wird deshalb „Informatik“ (vom altgriechischen Wort für „Maß“: μέτρον) genannt. In einem Untergebiet dieses Bereiches, der „Bibliometrie“, ist auch die vorliegende Dissertation angesiedelt.

³Laut International Telecommunication Union ist diese Zahl im Jahr 2010 weltweit auf ca. 2 Milliarden angestiegen. Siehe: http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/39.aspx (abgerufen am 29. Dezember 2010)

2 Einleitung

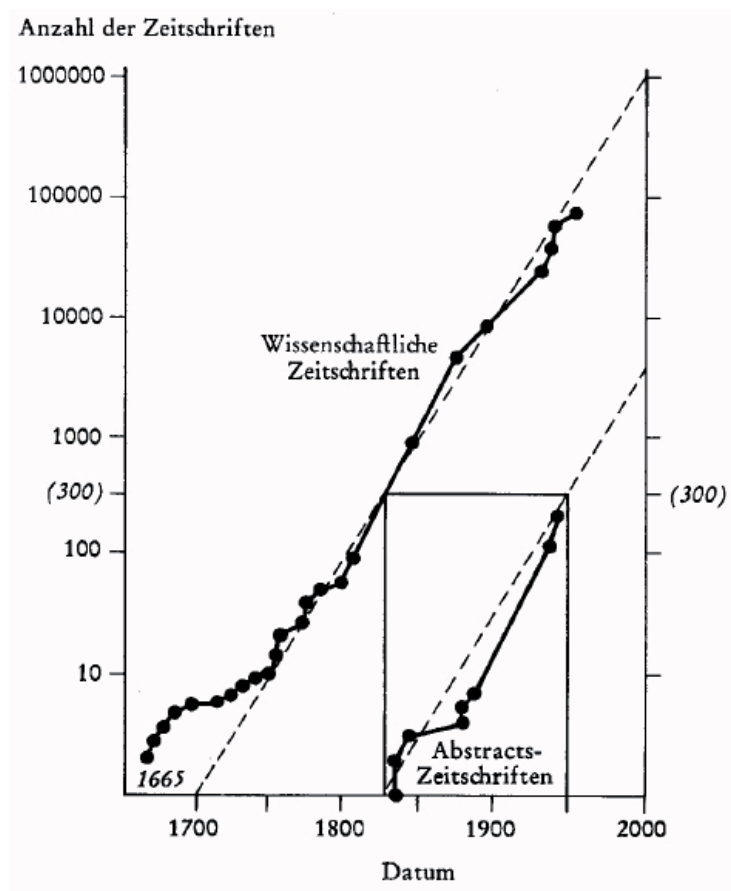
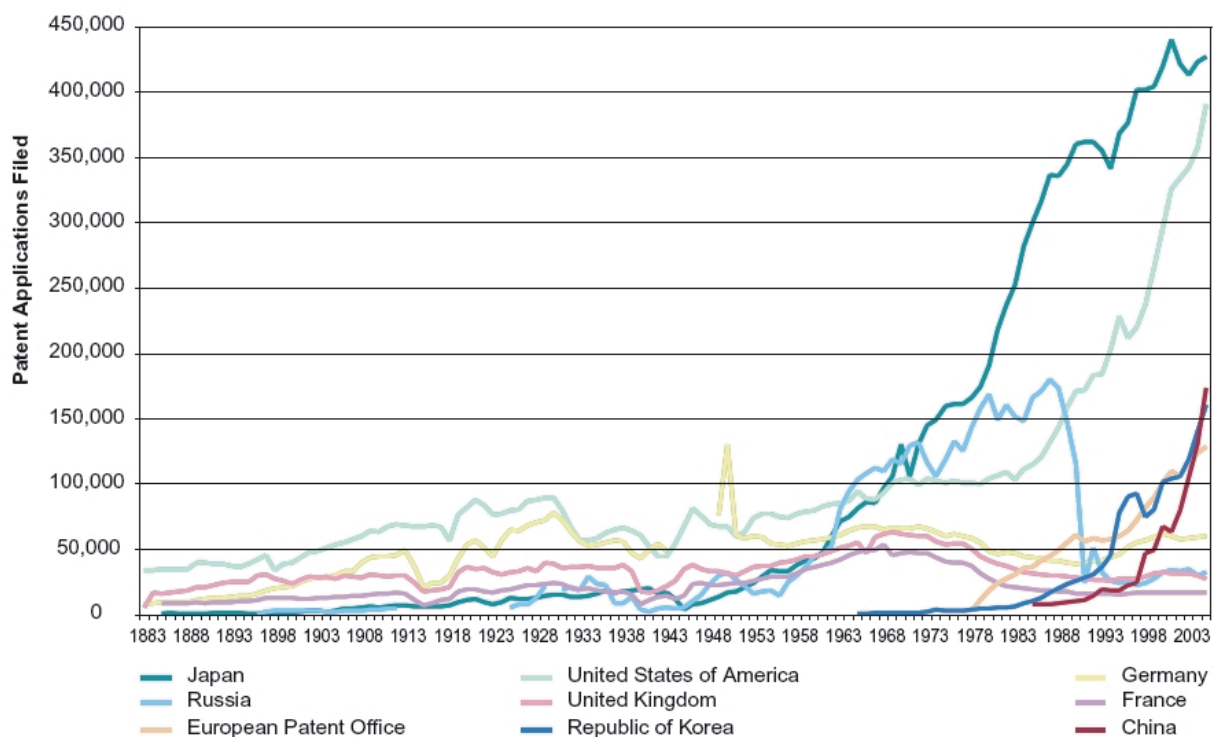


Abbildung 2.1: Zahl der Gründungen (nicht notwendigerweise noch existierender) wissenschaftlicher Zeitschriften und Abstracts-Zeitschriften im Zeitraum 1665 bis 2000 (ab 1961 geschätzt). Es ist zu beachten, dass hier alle Zeitschriften gezählt werden, die Wissenschaft in irgendeiner Weise enthalten. Es muss sich also nicht um rein wissenschaftliche Journale handeln (Quelle: de Solla Price, 1974)

Im Bereich der wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Patente begann das starke Wachstum der Anzahl von Veröffentlichungen bereits in der Mitte des 18. Jahrhunderts (siehe Abbildung 2.1) beziehungsweise von Patenten ab 1960 (siehe Abbildung 2.2). Den Schätzungen in Abbildung 2.1 zufolge hätte es bis zum Jahr 2000 ca. 1.000.000 Gründungen wissenschaftlicher Zeitschriften geben müssen. Larsen u. von Ins (2010) sprechen von 905.090 International Standard Serial Number (ISSN) die bis zum Jahr 2002 vergeben wurden. Diese werden genutzt, um Zeitschriften und Schriftenreihen eindeutig zu identifizieren. Allerdings stecken hinter den Zahlen nicht nur wissenschaftliche Zeitschriften. In Abbildung 2.1 wird eine breite Definition der gezählten Gründungen von Zeitschriften zugrunde gelegt. Gezählt wurden dort alle Zeitschriften, die „irgendwelche [sic!] Wissenschaft enthalten“

(de Solla Price, 1974, S. 20). Aber wieviele dieser Zeitschriften waren tatsächlich rein wissenschaftlich, und wieviele gibt es heute noch? Larsen u. von Ins (2010) geben Schätzungen an nach denen im Jahr 2006 1.350.000 wissenschaftliche Artikel in Zeitschriften, die eine Prüfung durch Experten durchführen (ein sogenanntes „Peer-Review“), publiziert wurden. Diese Zeitschriften gelten den Autoren nach als besonders seriös. 2010 sollen vermutlich ca. 24.000 solcher Zeitschriften weltweit existieren. Derek J. de Solla Price, ein Pionier auf dem Gebiet der Bibliometrie, aus dessen Buch die Abbildung 2.1 stammt, fragte deshalb schon 1963 (hier zitiert aus der Neuauflage des Werks: de Solla Price, 1974, S. 9):

„Warum sollten wir die Werkzeuge der empirischen Wissenschaften nicht auf die Wissenschaft selbst anwenden? Warum sollen wir nicht messen und verallgemeinern, Hypothesen aufstellen und Schlüsse ableiten?“



Source: WIPO Statistics Database

Abbildung 2.2: Anzahl der Patentanmeldungen in neun Ländern im Zeitraum 1883 bis 2005 (Quelle: WIPO, 2007)

Inzwischen gibt es zahlreiche Studien, die eben diese Werkzeuge auf Publikationen der Wissenschaft und Technologie angewandt haben. Auch diese Dissertation zählt dazu. Eine grundlegende Frage der vorliegenden Arbeit ist die nach den Verbindungen innerhalb

2 Einleitung

der wissenschaftlichen Kommunikation. In der heutigen wissenschaftlichen Forschung lassen sich grob zwei große Felder unterscheiden: das der grundlagen- und das der anwendungsorientierten Forschung. Schon allein die Tatsache, dass bei beiden Feldern von einer „Orientierung“ gesprochen wird, zeigt, dass die Grenzen der beiden Felder nicht klar umrissen sind. Häufig wird die „Orientierung“ auch einfach weggelassen, und es wird eine Unterscheidung zwischen „Grundlagenforschung“ und „Angewandter Forschung“ gemacht. Nichtsdestotrotz wird diese Unterscheidung, wie beispielsweise bei der Charakterisierung der beiden Forschungsgesellschaften Fraunhofer (angewandte Forschung)⁴ und Max-Planck (Grundlagenforschung)⁵, benutzt. Im Ausland finden sich Forschungsgesellschaften mit einer ähnlichen Unterscheidung. Das niederländische Pendant zur Fraunhofer-Gesellschaft heißt „Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung“ (kurz TNO)⁶. Für eine Forschungsgesellschaft wie die Fraunhofer-Gesellschaft, die diese Dissertation ermöglicht hat, liegt die Frage nahe, wie sich technologische und wissenschaftliche Themen identifizieren lassen, die in den Bereich der angewandten Forschung fallen oder zumindest im Randgebiet zwischen angewandter- und Grundlagenforschung angesiedelt sind. Ließen sich solche Themen möglichst früh erkennen, könnte zur rechten Zeit Geld in die Förderung solcher Technologien und Entwicklungen fließen. Aber wie ließe sich so eine Früherkennung realisieren? Diese Dissertation schlägt zur Beantwortung dieser Frage eine alternative Einteilung der Forschung vor.

Wissenschaftler kommunizieren miteinander wie fast alle Menschen. Abgesehen von alltäglichen Geschichten und Erlebnissen haben Wissenschaftler aber zusätzlich ein grundlegendes Interesse daran, Erkenntnisse, die sie im Zuge ihrer Arbeit gewonnen haben, anderen mitzuteilen. Dieses Interesse hat verschiedene Gründe wie zum Beispiel das Streben nach Reputation innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft, der fachliche Austausch mit Kollegen, oder um zu zeigen, dass man der Erste ist, der sich mit einem bestimmten Thema auseinandergesetzt hat. Gerade Letzteres kann in der Wissenschaft sehr wichtig sein (Merton, 1957). Dem fachlichen Austausch unter Kollegen kommt dabei eine besonders

⁴Selbstcharakterisierung der Fraunhofer Gesellschaft: „Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa.“. Abrufbar unter: <http://www.fraunhofer.de/ueberuns/index.jsp> (abgerufen am 15. Juli 2008)

⁵Selbstcharakterisierung der Max-Planck-Gesellschaft: „Max-Planck-Institute betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Bio-, Geistes- und Sozialwissenschaften im Dienste der Allgemeinheit.“. Abrufbar unter: <http://www.mpg.de/ueberDieGesellschaft/profil/index.html> (abgerufen am 15. Juli 2008)

⁶Selbstcharakterisierung von TNO: „Developing, integrating and applying knowledge: it’s the combination that differentiates us from other knowledge institutions. By encouraging the effective interplay of knowledge areas, we generate creative and practicable innovations: new products, services and processes, fully customised for business and government.“. Abrufbar unter: <http://www.tno.nl/> (abgerufen am 20. Oktober 2008)

wichtige Rolle zu. Allerdings lässt sich dieser nicht oder nur sehr schwer bibliometrisch messen. Im Laufe der Zeit hat sich im Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften die Kommunikation über Artikel in Zeitschriften und Beiträge zu wissenschaftlichen Konferenzen durchgesetzt. Dies nicht zuletzt, weil Wissenschaftler von der Publikation ihres Wissens profitieren. Bücher, wie zum Beispiel Monographien oder Handbücher, besitzen für den Wissenschaftler ebenfalls eine gewisse Wichtigkeit, wichtiger sind jedoch nach wie vor wissenschaftliche Artikel in regelmäßig erscheinenden Fachzeitschriften (siehe zum Beispiel Bellardo, 1980, S. 232 und OECD, 2010, S.99). Dieser Trend begann 1665 mit der Gründung der Zeitschriften „Philosophical Transactions“ in Großbritannien und „Journal des Scavans“ in Frankreich und setzte sich schließlich bis 1810 durch. Vor 1665 war es üblich, wissenschaftliche Ergebnisse als Buch oder Pamphlet zu veröffentlichen. Danach wurden wissenschaftliche Zeitschriften auch deshalb gegründet, weil es schließlich zu viele Bücher gab, die nicht mehr alle gelesen werden konnten. Ein Zitat eines Gelehrten von 1613, Barnaby Reich, illustriert sehr schön die Meinung seiner Zeitgenossen über die Vielzahl der wissenschaftlichen Literatur und die „Informationsflut“, die nicht erst in heutiger Zeit als solche empfunden wurde (zitiert nach: de Solla Price, 1974, S. 74):

„Eine der Krankheiten dieses Jahrhunderts ist die Überzahl an Büchern; so überladen ist die Welt von ihnen, dass es unmöglich ist, den Wust an unnützem Zeug zu verdauen, der täglich ausgebrütet und in die Welt geworfen wird.“

Ursprünglich dienten Zeitschriften dazu, Wissenschaftlern einen Überblick zu geben, an welchen Themen geforscht wird. So wusste man, welche Fachbücher zu lesen waren. Zeitschriften ermöglichten es den Gelehrten und Wissenschaftlern nun aber auch, kürzere Publikationen und aktuelle Ergebnisse regelmäßig zu veröffentlichen. In diesem Zusammenhang sei aber auf die naheliegende Tatsache hingewiesen, dass ein Mehr an kürzeren Veröffentlichungen nicht bedeuten muss, dass diese Artikel so gehaltvoll wie ein umfangreiches Fachbuch sind. Artikel zirkulieren aber schneller in der wissenschaftlichen Gesellschaft und können dadurch früher, besser und von mehr Menschen rezipiert werden (Cole u. Eales, 1917). Nutzt ein Wissenschaftler veröffentlichte Artikel eines anderen in seiner eigenen Arbeit, versieht er seine Veröffentlichung mit entsprechenden Zitationen⁷. Dieses System von Publikation und Zitation ist schon seit längerer Zeit ein fester, wenn auch oft diskutierter Standard in der wissenschaftlichen Gemeinschaft (Small, 2004). Diskutiert wird vor allem,

⁷Strenggenommen ist eine Zitation ein Verweis auf eine andere Publikation. Ein Zitat bezeichnet dagegen eine Textstelle, welche wortwörtlich übernommen wurde. Beide Begriffe werden in der Fachliteratur allerdings synonym verwendet. In dieser Arbeit wird die sprachliche Trennung, wo möglich, beachtet.

2 Einleitung

was eine Zitation tatsächlich aussagt. Handelt es sich um eine Würdigung des Artikels, um eine Kritik, oder um etwas anderes? Betrachtet man eine Zitation einfach als Hinweis, dass sich das Wissen von dem Autor des Artikels zum Zitierenden ausgebreitet hat, so ergeben sich einige interessante Fragen in Bezug auf die Felder der Grundlagen- und angewandten Forschung: Gibt es objektive Anzeichen für eine Anwendungs- oder Grundlagenorientierung des Wissens eines wissenschaftlichen Artikels? Gibt es typische Verbindungen zwischen diesen verschiedenen Wissenschaftsfeldern? Lassen sich solche typischen Verbindungen in die Zukunft extrapolieren und somit Trends erkennen?

Um diese Fragen zu beantworten, wird eine Datenbank benötigt, die nicht nur die bibliographischen Nachweise wissenschaftlicher Veröffentlichungen beinhaltet, sondern auch die Publikationen über Zitationen miteinander vernetzt. Mit einer solchen Datenbank lässt sich die Ausbreitung von Wissen über die Zitationen nachverfolgen (Garfield, 1964). In dieser Arbeit wurde hierfür primär das Internetportal Web of Knowledge von Thomson Reuters genutzt.⁸ Mithilfe dieser Daten lassen sich nun Untersuchungen darüber anstellen, wie sich das Wissen bestimmter Artikel in der Vergangenheit ausgebreitet hat bis es gegebenenfalls zu einer Anwendung führte. Dazu wird ein Artikel benötigt, der als klarer Anfang einer neuen Entwicklung, eines neuen Forschungsgebietes oder eines neuen wissenschaftlichen Themas betrachtet werden kann. Ein solcher Artikel (in der vorliegenden Arbeit „Genesisartikel“ genannt, siehe Kapitel 4.2.1) kann beispielsweise von Experten verschiedener wissenschaftlicher Fachgebiete geliefert werden. Ist der Artikel schon älter, kann er auch über eine Analyse der Geschichte des Themas gefunden werden.

Von solchen Artikeln ausgehend, können jene Publikationen näher untersucht werden, die diesen ersten Artikel zitieren. Der resultierende Datensatz (der sogenannte „Zitationsdatensatz“) hat den Vorteil, dass er innerhalb der Datenbank vollständig ist, da er alle Publikationen beinhaltet, die diesen ersten zitiert haben. Dies ist bei Datensätzen, welche mithilfe von thematischen Suchanfragen zusammengestellt wurden, nie mit völliger Sicherheit der Fall. Es besteht immer die Möglichkeit, dass bestimmte Publikationen wegen einer unzureichenden Suchanfrage nicht gefunden werden konnten. Aus den Schlagwörtern („Keywords“) des Zitationsdatensatzes lässt sich eine Suchanfrage formulieren, die für einen zweiten Literaturdatensatz (den sogenannten „Suchanfragedatensatz“) sowie für einen Patentdatensatz (welcher über das Web of Knowledge aus dem Derwent Innovation Index heruntergeladen wird) genutzt werden kann. Patente sind in diesem Zusammenhang wichtig, da sie Publikationen darstellen, die einen klaren Anwendungsbezug haben. Wissen-

⁸<http://apps.isiknowledge.com/>

schaftliche und Patentpublikationen sind ebenfalls über Zitationen miteinander verbunden. Die Bedeutung, Art und Interpretation dieser Verbindung ist umstritten.

Obige drei Datensätze sind Objekt der Analyse, die am Ende eine Aussage darüber zulässt wie sich das Wissen des ursprünglichen Artikels im Spannungsfeld zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung entwickelt hat. Lässt sich eine hinreichend gute Suchanfrage, zum Beispiel unter Mithilfe von Experten, erstellen, kann eine Analyse auch ohne Zitationsdatensatz durchgeführt werden. Die Entwicklung der Methodik dieses Verfahrens, das den Namen „Footprintanalyse“ trägt, ist das zentrale Thema dieser Doktorarbeit. Für diese Analyse gilt, dass sie in einem Entscheidungsfindungsprozess nicht alleine herangezogen werden kann. Sie ist ein quantitatives Instrument, welches eine qualitative Beurteilung und Bewertung von Fachleuten der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplinen hervorragend ergänzt (Moed, 2005, S. 29-31). Dass das Thema brandaktuell ist, und politische Akteure einen Handlungsbedarf sehen, neue Methoden der Technologievorausschau entwickeln zu lassen, zeigt auch der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im September 2007 angestoßene und von der Fraunhofer-Gesellschaft durchgeführte „BMBF-Foresight-Prozess“⁹.

Die vorliegende Dissertationsschrift ist folgendermaßen gegliedert: Das vorangegangene Kapitel stellt eine Zusammenfassung der gesamten Arbeit dar und dient einem besseren Überblick. Im nun folgenden Kapitel 3 wird die vorliegende Doktorarbeit zuerst in ihren fachlichen Hintergrund eingebettet. Unter Punkt 3.1 wird die Bibliometrie kurz vorgestellt, definiert und von anderen verwandten Begriffen abgegrenzt. Der Unterpunkt 3.2 beschreibt die Datenquellen, die für diese Arbeit genutzt wurden. In den Unterpunkten werden kurze Beschreibungen der Datenbanken gegeben sowie die Gründe ihrer Nutzung genannt. Abschließend wird im Unterkapitel 3.3 Kritik an der Bibliometrie geübt. Hier werden Probleme und aktuelle Debatten dieser Disziplin diskutiert und bewertet. Die Kritik ist in zwei Unterpunkte gegliedert, welche sich sowohl mit wissenschaftlichen Publikationen und Patenten als auch den jeweils in ihnen vorhandenen Zitationen und Referenzen beschäftigen.

Das vierte Kapitel beschreibt die Grundlagen und Methoden der „Footprintanalyse“. Unter 4.1 wird der Stand der Forschung zur Footprintanalyse ähnlichen Untersuchungen wiedergegeben. Die Theorie hinter der Footprintanalyse wird ebenfalls in diesem Kapitel erörtert. Die verschiedenen Methoden und Indikatoren, die für die Footprintanalyse herangezogen und entwickelt wurden, werden im Punkt 4.2 beschrieben, definiert und diskutiert. „Indikator“ ist in einschlägigen Wörterbüchern üblicherweise so definiert (Duden,

⁹Siehe: <http://www.bmbf.de/de/12673.php> (abgerufen am 23. November 2010)

2 Einleitung

2000, S. 606):

„[Ein Indikator ist ein] Merkmal, das als (beweiskräftiges) Anzeichen od. als Hinweis auf etwas anderes dient.“

Für die vorliegende Arbeit wurden Indikatoren dagegen folgendermaßen definiert:

Indikatoren stellen eine Kombination verschiedener Messgrößen dar, um einen komplexen Sachverhalt in seiner Komplexität zu reduzieren und abzubilden.

Die Betonung liegt hier auf der „Kombination verschiedener Messgrößen“. Der Impact Factor, einer der bekanntesten bibliometrischen Indikatoren überhaupt, besteht beispielsweise aus den Messgrößen „Publikationszahl“ und „Zitationszahl“. Kombiniert man beide, ergibt sich der Indikator, der je nach Autor die Qualität oder die Wahrnehmung einer Zeitschrift abbildet. In anderen Publikationen werden hingegen Messgrößen bereits als „Indikatoren“ bezeichnet (zum Beispiel bei Knaf u. Heubach, 2008). Die hier vorgegebene Definition von Indikatoren und Messgrößen ist fast identisch zu jener von van Raan (2004a, S. 19-20) (Messgrößen werden dort als „data“ bezeichnet).

Das Kapitel 5 ist das Herzstück dieser Arbeit. Es umfasst ausgesuchte Forschungsthemen zur Evaluation der Footprintanalyse (Kapitel 5.1) und aktuelle Fallbeispiele, wo diese neue bibliometrische Methode angewandt wurde (Kapitel 5.2). Mithilfe der Evaluation werden beispielhaft Themen untersucht, die bereits eine nachvollziehbare Entwicklung durchgemacht haben. Bei den Footprintanalysen zu aktuellen Themen ist eine solche Entwicklung bisher noch nicht abzusehen gewesen. Es soll untersucht werden, ob diese neuen Themen bereits zu einer Anwendung geführt haben, oder ob eine solche noch nicht abzusehen ist. Im Punkt 6 wird die Footprintanalyse diskutiert. Die Arbeit schließt mit dem Kapitel 7, in dem ein Fazit gezogen wird.¹⁰

Teilweise wurden Daten der besseren Übersicht halber nur in Auszügen präsentiert. Alle Daten und Quellcodes der genutzten Skripte liegen dem Autor vor und können gerne angefragt werden.

¹⁰Längere Zitate, Aufzählungen, Suchanfragen und eigene Definitionen wurden für einen besseren Lesefluss vom übrigen Text eingerückt dargestellt. Worum es sich jeweils handelt wird im Text erläutert. Wörtliche Zitate stehen außerdem in Anführungszeichen. Es wurde versucht, bei allen zitierten Werken den vollständigen Namen der Autoren anzugeben. In wenigen Fällen war dies jedoch nicht möglich, da zum Beispiel die zitierte Literatur sehr alt war, und in den Datenbanken nur der Nachname vollständig indexiert ist. In diesen Fällen wird zumindest, falls vorhanden, der erste Buchstabe des Vornamens angegeben. Bei manchen Quellen ist gar kein Autorenname vorhanden. Bei diesen wurde der Name der publizierenden Institution oder der Zeitschrift als Autor angegeben. Falls nicht anders gekennzeichnet, stammen Übersetzungen fremdsprachlicher Texte ins Deutsche von mir.

3 Hintergrund

3.1 Bibliometrie, Informetrie und Patentometrie

Die quantitativen Methoden dieser Dissertation entstammen größtenteils der Disziplin der „Bibliometrie“, die wiederum der „Informationswissenschaft“ angehört. Neben der Bibliometrie existieren noch weitere verwandte Disziplinen, welche den Wortteil „-metrie“ beinhalten. Zu den Begriffen, die allgemeiner als die Bibliometrie gefasst sind, gehört die „Informetrie“.

Stock u. Weber (2006) teilen die „Informetrie“ in einem ersten Schritt in drei Gebiete ein (siehe Abbildung 3.1):

- Information users and information usage
- Evaluation of information systems
- Information itself.

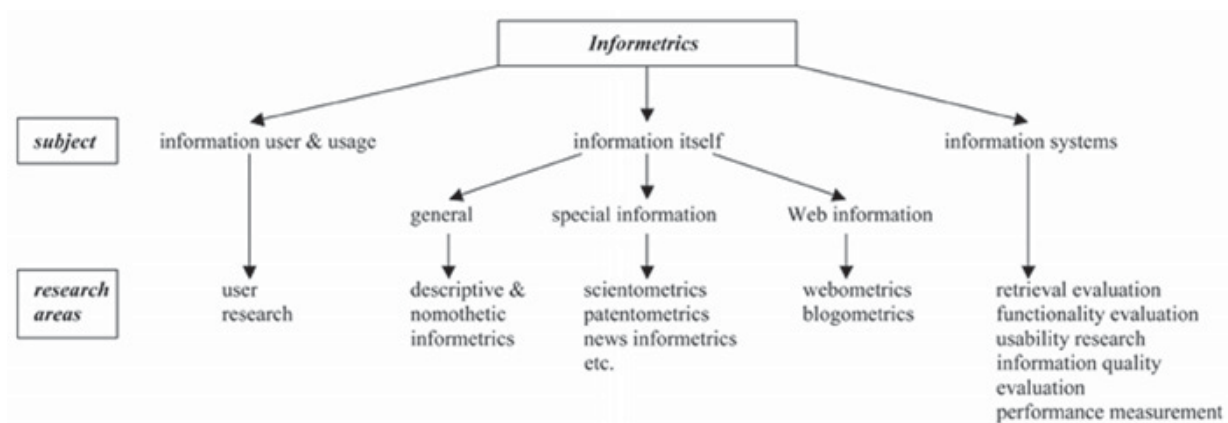


Abbildung 3.1: Unterteilung der Informetrie nach Stock u. Weber (2006, S. 385)

Für diese Studie wird von einer leicht abgewandelten Einteilung ausgegangen. Demnach lässt sich die Informetrie auch allein über den dritten Aspekt („information itself“) unterteilen. Das von mir vorgeschlagene Sphärenmodell in Abbildung 3.2 verdeutlicht dies.

3 Hintergrund

Informationen und Wissen werden in verschiedene Sphären aufgeteilt, nämlich in jene, in denen Daten-, Informations- und Wissensträger analog existent sind (Bücher, Zeitschriften, historische Quellen, aber auch Wissenschaftler, Fördergelder, Institutionen etc.) und in jene, die digital abrufbar sind (Seiten im WWW, Dokumente in Datenbanken, Daten auf CD etc.). Die halbierten Sphären in der Abbildung sollen nicht bedeuten, dass die Sphären in etwa gleich groß sind. Im Gegenteil, es kann davon ausgegangen werden, dass der größte Teil der weltweiten Informationen heute virtuell auf Festplatten gespeichert ist. Diese Unterteilung dient nur der besseren Übersicht.

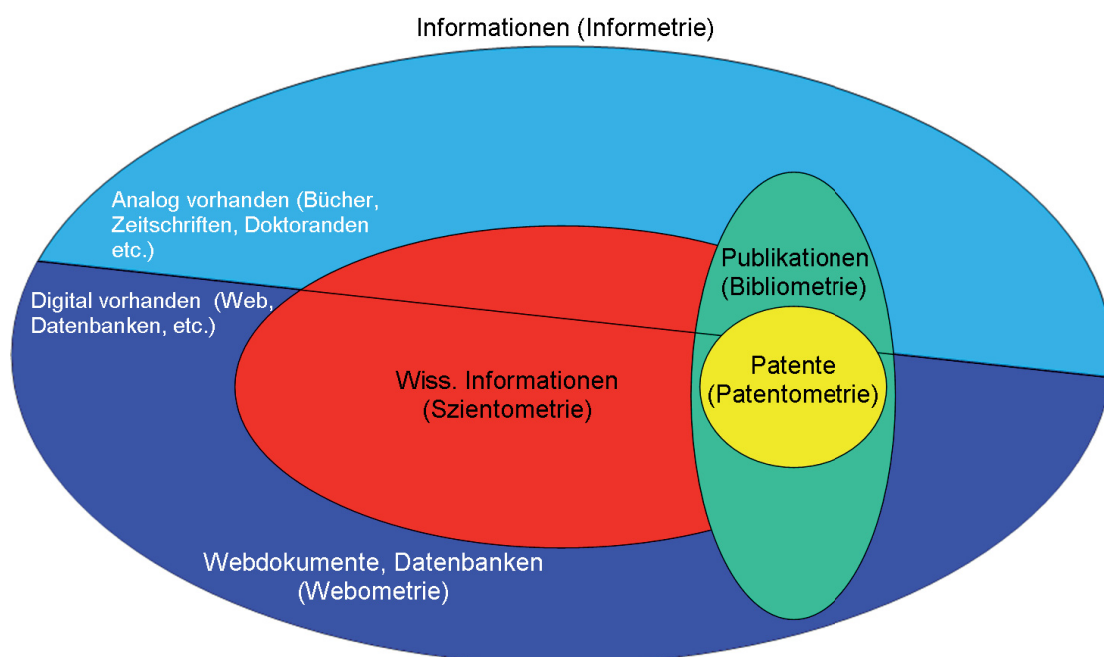


Abbildung 3.2: Sphärenmodell zur Unterteilung der Informetrie

Wenn allgemein in einem Teilbereich dieser Sphäre etwas gemessen wird und nicht näher definiert ist, was genau untersucht wurde, oder wenn verschiedene Untergebiete miteinander kombiniert werden, dann handelt es sich um Informetrie. Innerhalb dieser Sphäre können auch speziellere Messungen vorgenommen werden. Im digitalen Bereich wird meistens von Webometrie gesprochen, also von Messungen des WWW, von Webseiten, Inhalten von Datenbanken und so weiter. Einen großen und für diese Arbeit wichtigen Teil der Sphäre machen das „wissenschaftliche Wissen“ und die „wissenschaftlichen Informationen“ aus. Wird in diesem Bereich gemessen, ist dies Szientometrie. Publikationen können analog oder digital vorhanden sein, man findet sie im wissenschaftliche Bereich, aber auch außerhalb (zum Beispiel in der Belletristik oder der nicht-wissenschaftlichen Sachliteratur). Die

Messung von Publikationen nennt sich Bibliometrie (siehe hierzu zum Beispiel Havemann, 2009). Innerhalb dieser Sphäre der Bibliometrie lassen sich wiederum einzelne Publikationsgattungen unterscheiden. Studien, die sich mit der Vermessung von Patenten beschäftigen, sind im Untergebiet der Patentometrie angesiedelt. Wie bereits bei dieser Beschreibung festgestellt werden kann, sind die Grenzen zwischen den verschiedenen metrischen Untergebieten fließend und nicht immer klar zu definieren. Auch in der Literatur werden die Begriffe teilweise synonym verwendet. Da hier überwiegend wissenschaftliche Publikationen und Patente untersucht und gemessen werden, wird die vorliegende Arbeit im weiteren Text als „bibliometrische“ Arbeit bezeichnet. Die bibliometrischen Daten werden nomothetisch und deskriptiv untersucht. Nomothetisch bedeutet hier, dass nach Gesetzmäßigkeiten (vom griechischen Wort für „Gesetz“: νόμος) oder Mustern innerhalb der Datensätze gesucht wird. Deskriptive Untersuchungen behandeln dagegen konkrete Fragestellungen wie zum Beispiel: „Wie viele Artikel hat das Land X im Zeitraum 1980-2000 veröffentlicht?“ (Stock u. Weber, 2006). Solche Fragestellungen lassen sich mithilfe bibliometrischer Untersuchungen gut beantworten, da die Datenbasis jeder bibliometrischen Studie Publikationen sind. Publikationen eignen sich als Datenbasis, weil es sich bei ihnen stets um zählbare Werke handelt, welche, einem Artikel von Cole und Eales nach, dauerhaft vorhanden und erreichbar sind und damit auch entsprechend beurteilt werden können. Außerdem, so diese Autoren, lässt sich meistens ohne größere Probleme feststellen, wer wann und wo eine Publikation veröffentlicht hat (Cole u. Eales, 1917, S. 578). Es existieren aber auch Publikationen, die nur schwer zählbar sind. Artikel in der Wikipedia¹ und Fortsetzungsartikel sind Beispiele hierfür.

Bibliometrie wird auch im Bereich der Zukunftsforschung genutzt. An dieser Stelle sei aber darauf hingewiesen, dass die Bibliometrie stets eine Bestandsaufnahme jeweils aktueller oder vergangener Situationen darstellt. Eine Prognose lässt sich meist nur mithilfe von Extrapolation durchführen (für ein konkretes Beispiel zum Thema „Supraleitung“ siehe Wengenmayr, 2008, wo per Extrapolation vorausgesagt wird, dass dieses Thema bei gleicher Entwicklung in der Zukunft kaum noch relevant sein wird). In diesem Sinne wird die Bibliometrie auch bei der Footprintanalyse angewandt, in der unter anderem versucht wird, wiederkehrende Muster zu erkennen. Diese Methode wird häufig in der Prognostik und Trendanalyse angewandt (Wenzel, 2008).

¹<http://de.wikipedia.org/>

3.2 Datenquellen

In diesem Kapitel soll auf die in dieser Arbeit genutzten Datenbanken eingegangen werden.

3.2.1 Web of Science

Bei der Artikelsuche und Erstellung der Datensätze wurde primär das Web of Science beziehungsweise das übergeordnete Portal Web of Knowledge genutzt. Innerhalb des Web of Knowledge kann auf verschiedene Datenbanken wie Web of Science, Medline, Inspec oder den Derwent Innovations Index zugegriffen werden. Das Web of Science beinhaltet wiederum mehrere disziplinabhängige Publikationsindizes, deren Zugang von Institution zu Institution unterschiedlich sein kann. Für diese Arbeit konnten zwei verschiedene Zugänge zum Web of Knowledge genutzt werden: derjenige der Universität Düsseldorf sowie jener der Fraunhofer-Gesellschaft. Der Zugang der Universität Düsseldorf erlaubt einen vollständigen Zugriff auf alle Daten folgender Indizes innerhalb des Web of Science: Science Citation Index Expanded (beinhaltet die bibliographischen Angaben und Zitationen wissenschaftlicher Publikationen aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften), Social Science Citation Index (Sozial- und Gesellschaftswissenschaften) und Arts & Humanities Citation Index (Geisteswissenschaften und Kunst). Der Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft erlaubt keinen Zugriff auf den Arts & Humanities Citation Index, dafür aber auf die beiden neuen Conference Proceedings Citation Indizes Science und Social Science & Humanities (diese beiden Indizes gehen bis zum Jahr 1990 zurück und beinhalten die bibliographischen Angaben und Zitationen wissenschaftlicher Konferenzbeiträge). Die Archivdaten über den Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft reichen bis in das Jahr 1970 zurück, jene über den Zugang der Universität Düsseldorf bis ins Jahr 1945. Je nachdem, aus welchem Jahr der jeweilige Genesisartikel (dazu mehr im Kapitel 4.2.1) stammt, und wieviele Publikationen gefunden werden konnten, wurde der eine oder der andere Zugang benutzt. Auf eine Vermischung der Datensätze aus beiden Zugängen innerhalb eines untersuchten Themas wurde aus Gründen der Einheitlichkeit der Daten verzichtet.

Es existieren auch Alternativen zum Web of Science, sowohl im kommerziellen als auch im kostenlosen Sektor. Bei den kommerziellen Angeboten ist die vom Elsevier Verlag aufgelegte Datenbank SCOPUS zu nennen, die im Jahre 2004 gestartet wurde. SCOPUS erhebt den Anspruch, eine breitere Datenbasis (ca. 18.000 Zeitschriften) als das Web of Science (ca. 11.000 Zeitschriften) zu haben.²) Nach Pipp (2006) fanden sich im Jahre 2006 93%

²Eine Darstellung der Aufnahmekriterien für Journale in SCOPUS und eine Beschreibung des Inhalts

der Zeitschriften des Science Citation Index auch bei SCOPUS. Gleiches galt, und dürfte auch immer noch in vergleichbarer Größe für den Social Science Citation Index gelten. Allerdings sind nur 14% der im Arts and Humanities Index verzeichneten Zeitschriften auch bei SCOPUS zu finden. Die beiden letzteren Indizes sind für diese Arbeit kaum relevant. SCOPUS scheint aber fast den gesamten Science Citation Index zu ersetzen und bietet darüber hinaus noch rund 6500 weitere Zeitschriften, die nicht im Science Citation Index aufgeführt sind. Zusätzlich bietet SCOPUS Patentinformationen und Dissertationen.

Beide Datenbanken werden von ihren Herstellern kontinuierlich weiterentwickelt. Die Entscheidung für eine der beiden Datenbanken musste aber früh getroffen werden (Ende 2006), um unnötigen Mehraufwand zu verhindern. Für diese Dissertation wurde das Web of Science gegenüber SCOPUS aus folgenden Beweggründen bevorzugt und als Hauptquelle genutzt:

1. SCOPUS enthält zwar eine größere Anzahl von Zeitschriften, erfasst diese aber nicht vollständig. Meeting Abstracts, Letters, Notes und andere Dokumententypen werden momentan nicht in die Datenbank aufgenommen oder falsch indiziert.
2. Bis auf die Zeitschriften des Elsevier Verlags ist der Science Citation Index aktueller (Pipp, 2006).
3. Die Zeitschriftenauswahl richtet sich im Web of Science unter anderem nach dem Impact Factor, so dass dort nur jene Zeitschriften aufgenommen werden, deren Wahrnehmung in der wissenschaftlichen Community besonders hoch ist. SCOPUS hat einen breiteren Ansatz bei seiner Zeitschriftenauswahl und weniger enge Kriterien. Trotzdem weisen beide Datenbanken bei ähnlichen Suchanfragen für den Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften eine ähnlich hohe Trefferzahl auf. Die Zeitschriften, die nur in SCOPUS nachgewiesen werden, scheinen damit für die in dieser Arbeit untersuchten Gebiete keine große Relevanz zu haben (Tunger, 2005).
4. Nach einer Studie von Ball u. Tunger (2006) unterscheiden sich die Interessenschwerpunkte von SCOPUS und des Web of Science signifikant. Der Science Citation Index hat in den Disziplinen Chemie, Physik und Astronomie, den Materialwissenschaften und der Mathematik einen viel höheren Anteil an Zeitschriften als SCOPUS. SCOPUS dagegen hat nur einen gering höheren Anteil an Zeitschriften in den Disziplinen

dieser Datenbank finden sich unter: <http://www.info.scopus.com/scopus-in-detail/facts/> (abgerufen am 28. Juli 2010)

3 Hintergrund

Biochemie, Genetik und Molekularbiologie sowie Landwirtschaft und Biologie. Damit sind die meisten Disziplinen, die in dieser Arbeit untersucht wurden, stärker im Science Citation Index Expanded vertreten.

5. Das Web of Science beinhaltet bibliometrische Tools (Analyze-Tool, Citation Report, ResearcherID etc.), welche für eine schnelle Ersteinschätzung der Datensätze nützlich sind. Inzwischen gibt es solche Tools aber auch bei SCOPUS.
6. SCOPUS hat ein Downloadlimit von 2000 Artikeln. Dieses ist zwar höher als das Limit von 500 beim Web of Science, aber ein weiteres Hindernis ist, dass nur bis zu 2000 Artikel am Bildschirm angezeigt werden können. Beim Web of Science können dagegen alle Publikationen auf dem Bildschirm betrachtet werden, was ein erstes schnelles Bewerten des jeweiligen Datensatzes erleichtert.
7. Auch nach der Einführung von SCOPUS stellt das Web of Science weiterhin eine der wichtigsten Grundlagen für bibliometrische Studien dar und wird von internationalen Organisationen wie der Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), der Europäischen Kommission oder der National Science Foundation genutzt (siehe Larsen u. von Ins, 2010).

Die unterschiedliche Datenbasis verschiedener Zitationsindizes beziehungsweise Datenbanken (Web of Science, SCOPUS, Google Scholar) wird auch in einer Untersuchung von Bar-Ilan (2008) deutlich. In dieser Studie wurde der H-Index, ein bibliometrischer Indikator ähnlich dem Impact Factor oder der Zitationsrate, für verschiedene israelische Wissenschaftler berechnet. Die Zitationsrate ist ein Indikator, welcher die durchschnittliche Anzahl von Zitationen pro Publikation innerhalb eines Datensatzes anzeigt. Beim H-Index handelt es sich um einen bibliometrischen Indikator, welcher die „Qualität“ der publizierten Forschung eines Wissenschaftlers erfassen soll. Entwickelt wurde der Indikator von Hirsch (2005). Ein Wissenschaftler hat dabei einen H-Index von n , wenn er n Publikationen veröffentlicht hat, die n -mal zitiert wurden. Ein Wissenschaftler mit 10 Publikationen, von denen vier insgesamt viermal zitiert wurden und die anderen keinmal, hat also einen H-Index von 4. Nach Hirsch eignet sich der H-Index auch dazu, die zukünftige Produktivität eines Wissenschaftlers zu prognostizieren (Ball, 2007). Die Unterschiede in der Höhe des H-Index bei den israelischen Wissenschaftlern waren teilweise sehr groß. Derrick u. a. (2010) weisen außerdem auf die unterschiedlichen Ergebnisse hin, welche bei der gleichen Suchanfrage mit unterschiedlichen Zugängen zum Web of Knowledge auftreten können.

Larsen u. von Ins (2010) zeigen ebenfalls auf, dass im Web of Science längst nicht alle wissenschaftlichen Publikationen nachgewiesen sind, dies aber auch nie ein Ziel des Web of Science war. Ziel des Web of Science (beziehungsweise seiner Zitationsindizes) war es von Anfang an, die wichtigsten Kernzeitschriften der verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen abzubilden. Diese Kernzeitschriften werden nach bestimmten Kriterien ausgewählt: regelmäßiges Erscheinen der Zeitschrift, bibliographische Angaben auf Englisch, Peer-review Prozess bei der Auswahl der Artikel, Anzahl der Zitationen, welche das Journal von anderen wichtigen Journalen erhalten hat, Autoren aus verschiedenen Ländern etc. Nicht alle Kriterien müssen erfüllt werden, um in einen der Zitationsindizes aufgenommen zu werden. Am Ende entscheidet eine Gruppe von Redakteuren von Thomson Reuters (des Providers des Web of Science) über die Aufnahme eines Journals oder dessen Entfernung (auch dies ist möglich). Nach Testa werden jährlich ca. 2000 neue Journals evaluiert, rund 10% davon werden in das Web of Science aufgenommen (Testa, 2006).

In einigen Publikationen wird darauf hingewiesen, dass das Web of Science im Bereich der Ingenieurwissenschaften und der Informatik eine weniger gute Datenbasis besitzt als zum Beispiel SCOPUS. Thomson Reuters hat auf diese Kritik reagiert und die Anzahl der Zeitschriften im Web of Science erweitert. Die weniger gute Datenbasis hängt wahrscheinlich auch damit zusammen, dass im Web of Science ursprünglich sehr viel weniger Konferenzbeiträge vorhanden waren. Mit der Einführung der Conference Proceedings Zitationsindizes wurde diesem Problem entgegengetreten (siehe hierzu als Beispiel: Larsen u. von Ins, 2010). Über den Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft konnte auf diese relativ neuen Zitationsindizes (für die Bereiche Science und Social Science) zugegriffen werden. Dies ist insofern wichtig, da die Fraunhofer-Gesellschaft nicht nur in der Naturwissenschaft, sondern auch in den Ingenieurwissenschaften und der Informatik stark vertreten ist. Letztere kommunizieren zwar ebenfalls über Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften, ein großer Teil der Forschungsergebnisse wird aber auch in Form von Beiträgen für wissenschaftliche Konferenzen veröffentlicht (Schütte, 2009, S. 19). Im Zuge der Einführung der neuen Indizes wurden einige Publikationen aus den verschiedenen Indizes in jeweils andere verschoben. Wo dies bemerkt wurde, wurden ältere Datensätze aktualisiert und die Analyse erneut durchgeführt. Die dabei beobachteten Änderungen waren allerdings minimal.

Es wurde bereits weiter oben darauf hingewiesen, dass die Datenbanken ihr Angebot kontinuierlich weiterentwickeln und unter anderem neue Quellen aufnehmen. Es ist also möglich, dass in naher Zukunft die Vorteile des Web of Science weiter ausgebaut oder die von SCOPUS ausgeglichen werden. Als Beispiel dafür sei ein aktueller OECD Bericht aus

3 Hintergrund

dem Jahr 2010 genannt, welcher nicht mehr nur das Web of Science als Grundlage, sondern zusätzlich auch noch Daten von SCOPUS nutzt (OECD, 2010).

3.2.2 Derwent Innovations Index

Für diese Arbeit wurde der Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft zum Derwent Innovations Index über das Web of Knowledge genutzt. Der Vorteil dieser Patentdatenbank gegenüber den kostenlosen Varianten der Patentämter selber³ liegt in den flexibleren Suchmöglichkeiten, dem umfangreicheren Inhalt der Patentschriften und einer Prüfung des Patentinhalts durch Experten. Als Teil des Web of Knowledge können im Derwent Innovations Index, wie im Web of Science, die Analyse Tools angewandt werden. Außerdem sind die Informationen, welche bei den verschiedenen Patentämtern vorliegen um eigene Informationen wie eigene Patenttitel, Zusammenfassungen und eine eigene Klassifikation erweitert. Ein weiterer Vorteil ist die Angabe kompletter Patentfamilien. Eine Erfindung kann als Patent in mehreren Ländern angemeldet und dann mehreren Klassen zugeordnet werden. Dabei ist nicht immer klar, welche Patente zur gleichen Erfindung gehören. Im Derwent Innovations Index werden diese Patentfamilien von Experten zusammengestellt und gemeinsam ausgegeben. Aus diesem Grund können sie auch entsprechend gezählt werden (dazu mehr im Kapitel 4.2.3).⁴ Bei heruntergeladenen Datensätzen aus dem Derwent Innovations Index handelt es sich also um Patentfamilien. Dies ist auch der Fall, wenn eine Patentfamilie nur aus einer einzigen Patentanmeldung besteht (diese werden auch „Singletons“ genannt, siehe Martinez, 2011, S. 40). Deshalb wird im weiteren Verlauf der Arbeit „Patent“ und „Patentfamilie“ weitestgehend synonym verwendet, da beide Wörter einen Eintrag in einem der Patentdatensätze bezeichnen. An den Stellen, an denen der Unterschied wichtig ist, wird gesondert darauf hingewiesen.

Wie bei den meisten Patentdatenbanken gilt auch beim Derwent Innovations Index, dass er nicht „zum Zwecke statistischer Erhebungen eingerichtet worden ist“, sondern in erster Linie für Patentanwälte oder interessierte Unternehmen. Der Schwerpunkt liegt also auf der Rechercharbeit, nicht aber auf bibliometrischen Analysen. Dies kann dazu führen, dass Datensätze doppelte Einträge, unvollständige Angaben oder schlicht Fehler aufwei-

³Zum Beispiel die Datenbanken des Deutschen Patent- und Markenamtes (<http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/>), des amerikanischen United States Patent and Trademark Office (USPTO) (<http://www.uspto.gov/patft/index.html>) oder des europäischen Patentamtes (<http://ep.espacenet.com/>).

⁴Beschreibung des Derwent Innovations Index unter: http://thomsonreuters.com/products_services/legal/legal_products/intellectual_property/Derwent_Innovations_Index (abgerufen am 26. 01. 2010)

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

sen (Grupp u. Schmoch, 1992, S. 23ff.). Die Bereinigung des Datensatzes nimmt deshalb, ähnlich wie bei den Daten aus dem Web of Science, viel Zeit in Anspruch.

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

Nach der Einordnung der Dissertation in die Disziplin „Bibliometrie“ und einer Beschreibung der genutzten Datenquellen soll in diesem Punkt mithilfe der vorhandenen Fachliteratur das Thema diskutiert werden, inwiefern sich die Bibliometrie überhaupt als quantitatives Instrument eignet.

Die Bibliometrie fußt auf einer zentralen Annahme: Wenn Naturwissenschaftler etwas wichtiges mitzuteilen haben, dann tun sie dies meistens mit Artikeln in wissenschaftlichen Zeitschriften. Analog gilt dies für Ingenieurwissenschaftler und Informatiker, die durch Beiträge zu wissenschaftlichen Konferenzen weitere wichtige Kommunikationskanäle nutzen. Natürlich kann diese Annahme auch kritisiert werden, da beispielsweise in den Geisteswissenschaften nicht die Zeitschriften Hauptträger der wissenschaftlichen Kommunikation sind, sondern Bücher, wie zum Beispiel Monographien oder Handbücher. Auch das verstärkte Aufkommen elektronischer Publikationen relativiert die Annahme ebenso wie die Tatsache, dass wissenschaftliche Artikel in ihrer Bedeutung stark variieren. In der Literatur zu dem Thema wird aber darauf hingewiesen, dass in der wissenschaftlichen Gemeinschaft Naturwissenschaftler weiterhin versuchen, ihre Publikationen in anerkannten, prestigeträchtigen Zeitschriften unterzubringen (van Raan, 2004a, S. 26). Dies gilt für die Natur- und die medizinischen Wissenschaften mehr als für die Informatik und Ingenieurwissenschaften, und weniger für die Sozial- und Geisteswissenschaften (Hornbostel u. von Ins, 2009). Das Publikationsverhalten lässt sich nach einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen wie Mathematik, Chemie oder Soziologie differenzieren. Sie unterscheiden sich vor allem darin, welches Medium (Bücher, Zeitschriften, Online Publikation etc.) bevorzugt genutzt wird, um Wissen mitzuteilen und zu verbreiten, welche Art der Veröffentlichung präferiert wird (zum Beispiel Preprints, Reprints, klassische Veröffentlichungen, Veröffentlichungen im Open Access etc.), wieviele Autoren durchschnittlich an Veröffentlichungen mitwirken oder wie häufig veröffentlicht wird. Diese Unterschiede haben sich in den vergangenen hundert Jahren etabliert und hängen mit der Geschichte des jeweiligen Faches zusammen. In der Geschichtswissenschaft ist noch der Ein-Autor-Aufsatz die Regel, während dieser in den Naturwissenschaften immer seltener vorkommt (Schütte, 2009, S.14-35).

3 Hintergrund

Eine genaue Unterscheidung nach Disziplinen war in dieser Arbeit aber nicht immer möglich oder nötig. Betrachtet wurden wissenschaftliche und technologische Themen, die in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen bearbeitet wurden. Eine Trennung nach Disziplinen müsste über die Einteilungen des Web of Science durchgeführt werden, und diese beziehen sich auf die indexierten Journale. Dabei kann ein Journal mehrere Disziplinen aufweisen (zu der Diskussion über die Subject Areas im Web of Science siehe 4.2.6). Wann immer möglich, wurden fachspezifische Unterschiede einbezogen.

Natürlich haben Wissenschaftler, zusätzlich zur Veröffentlichung, auch immer schon im persönlichen Gespräch Ideen und Kritik ausgetauscht. Dies ist heutzutage weiterhin der Fall. Das schiere Ausmaß der heutigen wissenschaftlichen Forschung zwingt Wissenschaftler jedoch immer mehr dazu ihre Arbeiten in Zeitschriften zu veröffentlichen, damit sie überhaupt von einem größeren Kreis von Kollegen wahrgenommen werden können (Whitfield, 2008). Ein oft genanntes Beispiel, das der Annahme des „Publikationszwangs“ widerspricht, ist Newtons Buch „Principia Mathematica“. Newton soll ein Mensch gewesen sein, der schwer mit Kritik seiner Kollegen umgehen konnte. Deshalb veröffentlichte er seine Arbeiten immer nur dann, wenn er alles gut durchdacht und auf alle möglichen Einwände und Nebenargumente eingegangen war. Dieses Vorgehen steht der schnellen Veröffentlichung wissenschaftlicher Artikel in Journalen entgegen. De Solla Price meint, dass wir Newtons Buch vielleicht nie bekommen hätten, wenn zu seiner Zeit der wissenschaftliche Artikel bereits ein so effektives und breit genutztes Kommunikationsmittel gewesen wäre wie heute (de Solla Price, 1974, S. 76). Trotzdem werden heutzutage die meisten wichtigen Forschungserkenntnisse in Form von Artikeln veröffentlicht.

Die nächste Annahme ist, dass Artikel als Ergebnis wissenschaftlicher Arbeit von Kollegen gelesen und bewertet werden. Sobald ein Kollege das Wissen aus einem anderen Artikel würdigt, kritisiert oder auf andere Art für seine Arbeit nutzt, dann wird er, so zumindest die Annahme, dies anhand eines wörtlichen Zitats oder einer Zitation in seiner eigenen Publikation kenntlich machen. Der Zitationsprozess ist komplex und weder frei von Fehlern (zum Beispiel das falsche Setzen von Zitaten, Fehler bei der Angabe der Quellen etc.) noch von menschlichen Versäumnissen (zum Beispiel das Zitieren wissenschaftlicher Arbeiten von Freunden als „Freundschaftsdienst“, Selbstzitate ohne fachliche Begründung etc.). Auch der kreative Einsatz von Zitaten lässt sich in der wissenschaftlichen Literatur finden. So gab der sowjetische Physiker George Gamov in seinem am 1. April 1948 erschienenen Artikel „The Origin of Chemical Elements“ als Mitautoren R. Alpher und H. Bethe an. Bethe hatte an diesem Artikel zwar keinen Anteil, aber Gamov schrieb ihn dazu, damit

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

annähernd die griechischen Buchstaben Alpha, Beta und Gamma in der Autorenzeile auftauchen (Gamov, 1980). Trotz solcher und ähnlicher Beispiele gilt jedoch weiterhin, dass Zitationen häufig gesetzt werden, weil das Wissen aus einer Publikation genutzt wird. In der Literatur findet man mehrere Listen mit verschiedenen „seriösen“ Gründen für das Zitieren, auch eine von Eugene Garfield aus dem Jahre 1965, welche 15 Gründe nennt (hier zitiert aus einem Reprint des Originalartikels von 1965: (Garfield, 1970, S. 85):

1. „Paying homage to pioneers.
2. Giving credit for related work.
3. Identifying methodology, equipment etc.
4. Providing background reading.
5. Correcting one's own work.
6. Correcting the work of others.
7. Criticizing previous work.
8. Substantiating claims.
9. Alerting to forthcoming work.
10. Providing leads to poorly disseminated, poorly indexed, or uncited work.
11. Authenticating data and classes of fact – physical constants, etc.
12. Identifying original publications in which an idea or concept was discussed.
13. Identify original publications or other work describing an eponymous concept or term.
14. Disclaiming work or ideas of others (negative claims).
15. Disputing priority claims of others (negative homage)“.

Garfield weist darauf hin, dass diese Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Interessanterweise wird diese Liste in anderen Publikationen (zum Beispiel Cronin, 1984, S. 30) dem Autor Weinstock (1971) zugesprochen.⁵ Nach Smith (1981, S. 84) eignen sich

⁵Da Garfields Artikel sechs Jahre älter ist als Weinstocks Eintrag in der „Encyclopedia of Library and Information Science“, in welcher die gleichen 15 Gründe aufgeführt sind, kann davon ausgegangen werden, dass Garfield der ursprüngliche Autor der Liste ist.

3 Hintergrund

Zitationen als gutes Untersuchungsobjekt quantitativer Analysen, weil sie, besser als jeder von einem Wissenschaftler ausgefüllte Fragebogen, eine objektive Aussage darüber erlauben, ob ein Artikel von einem anderen Wissenschaftler wahrgenommen wurde oder nicht. Die Ungenauigkeiten, welche sich aus der großen Zahl verschiedener Beweggründe für das Zitieren ergeben, wiegen diesen Vorteil, ihrer Meinung nach, nicht auf. In einer aktuelleren Publikation entwickeln del Mar Camacho-Minano u. Nunez-Nickel (2009) ein Modell mit drei Ebenen, welches die Literaturlauswahl eines Autors beschreiben soll:

1. Auf der ersten Ebene werden alle Publikationen, die vom Autor nicht genutzt werden können, weil sie zum Beispiel in einer Sprache geschrieben sind, welche er nicht versteht, oder weil er keinen Zugriff auf sie hat, von ihm aussortiert. Hierbei handelt es sich um keine Auswahl im fachlichen Sinne. Entweder die Paper können genutzt werden oder nicht.
2. Auf der zweiten Ebene werden nur jene Publikationen ausgewählt, welche sinnvoll in das eigene Paper eingefügt werden können, weil sie zum Beispiel vorhergehende Arbeiten beschreiben. Hier findet eine objektive Auswahl statt.
3. Auf der dritten Ebene kann der Autor nun aus der Fülle der Publikationen jene auswählen, welche er zitieren möchte. Hierbei stellt sich die Frage, ob er „Vorurteile“ gegenüber den übrigen Publikationen hat oder nicht. Mit „Vorurteilen“ ist gemeint, dass bevorzugt Publikationen von Kollegen zitiert werden, oder ein Ergebnis nicht zitiert wird, weil es der eigenen Arbeit widerspricht.

Gerade der dritte Punkt wird häufig diskutiert. Garfield (2002) schlägt als Lösung die Einführung eines „Wissenschaftsgerichts“ vor, welches bewusst falsches Zitieren bestraft. Als weitere Möglichkeit führt Garfield eine unterschriebene Verpflichtungserklärung der Autoren an, in der sie versichern bei der Anfertigung ihrer Arbeit Literaturdatenbanken benutzt zu haben.

Es darf nach den obigen Ausführungen also angenommen werden, dass Zitationen wertvolle Analysemöglichkeiten eröffnen. Aber können Zitationen und die wissenschaftlichen Publikationen, auf die sie verweisen, wirklich als Untersuchungsobjekte für Analysen, wie sie in dieser Arbeit durchgeführt werden, herangezogen werden? Auf diese Frage geht der nächste Unterpunkt ein.

3.3.1 Wissenschaftliche Publikationen und ihre Zitationen als Quellen bibliometrischer Analysen

Diese Arbeit nutzt und wertet wissenschaftliche Publikationen, ihre Referenzen und erhaltenen Zitationen aus. Dabei handelt es sich überwiegend um Artikel aus wissenschaftlichen peer-reviewed Zeitschriften und um Beiträge zu wissenschaftlichen Tagungen und Konferenzen (sog. Conference Proceedings). Die Auswertung verschiedener Kennwerte dieser Artikel dient dazu, eine Aussage über eine neue Technologie oder eine wissenschaftliche Entdeckung zu machen. Vor der Betrachtung der Methode der Auswertungen und Analysen sowie ihrer Ergebnisse soll zunächst diskutiert werden, ob wissenschaftliche Publikationen und ihre Zitationen überhaupt für eine solche Vorgehensweise genutzt werden können.

Schon vor fast 30 Jahren fragte Eugene Garfield in dem Titel eines seiner Artikel: "Is citation analysis a legitimate evaluation tool?". Er erwähnt gleich zu Beginn des Artikels eine interessante Tatsache, die auch heute noch zutrifft: Publikationen über Zitationsanalysen, die geschichtliche Zusammenhänge der Forschung beleuchten oder die Entwicklung verschiedener Fachrichtungen aufzeigen, führen selten zu emotionalen Reaktionen in der Forschergemeinde. Im Gegenteil, meist wird in diesem Kontext rational diskutiert. Ganz anders sieht es mit Artikeln aus, die Methoden für die Evaluation von Wissenschaft und Wissenschaftlern und deren Ergebnisse beschreiben. Solche Artikel wurden und werden, häufig zu Recht, sehr kritisch rezipiert und teilweise angegriffen. Warum dies so ist, liegt auf der Hand: Bei einer Evaluation, welche versucht einen komplexen Sachverhalt auf einzelne Zahlen (häufig Indikatoren) zu reduzieren, geht ein Teil der ursprünglichen Informationen verloren. Häufig ist es aber genau dieser fehlende Teil, der bei den Untersuchten (zum Beispiel Forschungsinstitutionen oder Wissenschaftlern selbst) für Unmut sorgt. Garfield hält entgegen, dass es eine Fülle von Studien gibt, welche zeigen, dass die Ergebnisse bibliometrischer Analysen häufig die Urteile von Experten (also qualitative Ergebnisse) bestätigen und damit unterstützen (Garfield, 1979, S. 359).

Er entkräftet auch ein häufig vorgebrachtes Argument, dass Zitationsanalysen wegen so genannter negativer Zitationen und Selbstzitationen nicht aussagekräftig seien. Negative Zitationen sind Zitationen, in denen ein Autor eine Zitation setzt, um die Arbeit eines anderen zu kritisieren. In der Auflistung der Zitationsgründe in Kapitel 3.3 finden sich diese negativen Zitationen in den Punkten 14 und 15 wieder. Tatsächlich ist ein Artikel, der nur deshalb sehr häufig zitiert wird, weil sein Inhalt falsch ist, nicht unbedingt ein qualitativ hochwertiger Artikel. Garfield zeigt, dass solche Zitationen zumindest in der Natur- und Ingenieurwissenschaft eher die Ausnahme sind. Normalerweise, so Garfield, werden

3 Hintergrund

falsche Resultate in der Naturwissenschaft ignoriert, ausser die Resultate behindern weiteren Fortschritt. Kommt es dann zu einer häufigen Zitierung des Artikels mit den falschen Resultaten, wäre eine hohe Zitationszahl sogar wünschenswert, denn möglicherweise handelt es sich dann um einen kontroversen Artikel. Viele frühe Publikationen von Nobelpreisträgern, so Garfield weiter, wurden zunächst für die Veröffentlichung abgelehnt und nach der dann doch erfolgten Veröffentlichung kontrovers diskutiert. In der Geisteswissenschaft, in der eine ganz andere Diskurskultur herrscht, ist das Phänomen negativer Zitationen stärker ausgeprägt. Dies ist für diese Arbeit aber nicht weiter relevant, da der Fokus auf den Natur- und Ingenieurwissenschaften liegt. Selbstzitationen können zwar nach Garfield prinzipiell eine Möglichkeit darstellen seine eigene Zahl von Zitationen künstlich zu erhöhen, aber praktisch sei es der Regelfall, dass Wissenschaftler viele ihrer Paper auf eigene, vorhergehende Arbeiten aufbauen und sich aus diesem Grunde selber zitieren. Damit wären Selbstzitationen in den meisten Fällen Ausdruck eines engen Forschungsfeldes, da die eigene Literatur zitiert werden muss, um einen kompletten Überblick über den Stand der Forschung zu liefern. Der Versuch, die eigene Zitationsanzahl mit Selbstzitationen effektiv in die Höhe zu treiben, wäre außerdem sehr auffällig, da ein Autor hierfür häufig publizieren müsste. Dies wiederum würde bedeuten, dass er die Hürde des Peer-Review immer wieder überwinden müsste und dies mit Artikeln, in denen er sich selber ständig und ohne Grund selber zitiert. Sollte der Autor jedoch versuchen kontinuierlich in Zeitschriften zu publizieren, welche nicht peer-reviewed sind, würde auch dies auffallen, weil beispielsweise das Web of Science fast ausschließlich Peer-Review-Zeitschriften beinhaltet. Da das Web of Science für viele bibliometrische Analysen genutzt wird, würden Publikationen aus Zeitschriften, welche dort nicht indexiert sind, nicht in die Berechnung mit einfließen. Eine Manipulation von Zitationszahlen erscheint Garfield also prinzipiell möglich, aber sehr unwahrscheinlich (Garfield, 1979, S. 360-373). Diese Sicht der Dinge wird auch 2010 in einem Artikel der Zeitschrift *Nature* bestätigt. Dort wird berichtet, dass die meisten Teilnehmer einer Umfrage (71%) unter *Nature*-Lesern befürchten, dass Autoren ihre Zitationszahlen durch Selbstzitationen manipulieren könnten. Entscheidungsträger wie Hochschulrektoren halten dies wie auch schon Garfield für unwahrscheinlich: Bei Peer-Review-Zeitschriften würde eine solche Manipulation den Reviewern auffallen (Abbott u. a., 2010).

Auch wenn Garfields Artikel bereits über 30 Jahre alt ist, gibt es weiterhin Kritik an der Bibliometrie. Eine kritische Studie stammt von Adler u. Taylor (2008). Diese Studie wurde von Mathematikern geschrieben. Gerade die Mathematik leidet oft unter Evaluationen, welche nur auf bibliometrischen Analysen beruhen, da sich die Zitierkultur in diesem Fach

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

stark von anderen unterscheidet. Es wird kritisiert, dass der Impact Factor als Indikator wissenschaftlicher Qualität genutzt wird, obwohl dies ohne weiteres nicht möglich ist. Die Güte eines Journals nur nach der Höhe seines Impact Factors zu bewerten bedeute, so die Autoren, „die Gesundheit einer Person nur anhand ihres Gewichtes zu beurteilen“ (Adler u. Taylor, 2008, S. 2). Der Impact Factor als einer der beliebtesten Indikatoren steht hier stellvertretend für die generelle Anwendung bibliometrischer Methoden, da er die beiden grundlegenden Messgrößen (Anzahl der Publikationen und Anzahl der Zitationen) vereint. Ein Großteil der Kritik an diesem Indikator lässt sich auch auf andere Indikatoren übertragen. Eine einzelne Zahl in Form eines Indikators reduziere die Komplexität von Forschung zu sehr und führe zu verzerrten Ergebnissen. Die Autoren wollen mit ihrer Kritik aber nicht erreichen, dass Bibliometrie nicht mehr zur Evaluation genutzt wird. Im Gegenteil, sie betrachten die Bibliometrie als „wertvolles Werkzeug“. Sie wollen aber auf Missbrauch und falsche Nutzung dieses Werkzeugs hinweisen, weil sie einen Trend erkennen, dass die Bibliometrie immer häufiger die qualitative Evaluation von Wissenschaft durch Experten ersetzt oder ersetzen soll. Diesen Trend halten die Autoren für falsch und gefährlich. Bibliometrische Analysen können nur eine Methode von mehreren sein, um eine Evaluation von Wissenschaft durchzuführen (Adler u. Taylor, 2008, S. 5).

Diese Studie wurde in der Zeitschrift „Statistical Science“ und auch darüber hinaus lebhaft diskutiert (siehe zum Beispiel Drösser, 2010). Die Diskussion ist exemplarisch für den Diskurs, welcher auch innerhalb der Bibliometrie geführt wird. In vier Kommentaren, welche zusätzlich zur ursprünglichen Studie veröffentlicht wurden, ist man sich einig, dass die Kritik an der Bibliometrie prinzipiell gerechtfertigt ist. Die Kommentare gehen darüber hinaus auf weitere Probleme ein. So ergänzt ein Kommentar, dass die Evaluation einzelner Individuen mithilfe des Impact Factors vergleichbar wäre mit der Evaluation eines einzelnen Menschen mithilfe des Bruttoinlandsproduktes seines Heimatlandes, da der Impact Factor als Indikator für eine Zeitschrift und nicht für einen Menschen (in diesem Fall für einen Wissenschaftler) gedacht ist (Silverman, 2009, S. 2). Es wird auch darauf hingewiesen, dass qualitative Evaluationen, die nur auf Peer-Review basieren, positive und negative Seiten haben können. In Großbritannien wurde eine Zeitlang eine Evaluation der Universitäten und Institute zum größten Teil in einem Peer-Review-Verfahren durch Experten durchgeführt. In dieser Evaluation wurden Institute positiv bewertet, die besonders viele Wissenschaftler neu eingestellt hatten. Dies führte dazu, dass viele Institute neue Mitarbeiter nur bis zum Datum der Evaluation einstellten. Danach folgte ein Einstellungsstopp. Trotzdem wird in dem Kommentar argumentiert, dass die negativen Seiten einer

3 Hintergrund

reinen bibliometrischen Evaluation gewichtiger sind als eine reine Peer-Review-Evaluation. Zusammenfassend wird gesagt, dass die Bibliometrie in bestimmten Situationen ein guter und nützlicher „Diener“ der Forschung sein kann, aber ein schlechter „Meister“. Diese Metapher bedeutet meiner Meinung, dass die Bibliometrie in bestimmten Fällen unterstützend zu Peer-Review-Evaluationen genutzt wird, nicht aber als einziger Bewertungsfaktor dienen kann (für die Bewertung von Evaluationen in Großbritannien siehe auch Warner, 2000).

Der zweite Kommentar weist darauf hin, dass eine Evaluation eines Papers über die Anzahl der erhaltenen Zitationen der Evaluation eines Films anhand des Geldes, welches er wieder eingespielt hat, gleicht (Hall, 2009, S. 1).

Der dritte Kommentar stützt diese Meinung und ergänzt, dass eine einfache Zitationsanalyse nur eine einzelne Dimension wissenschaftlicher Güte darstellt. Es wird hier wie auch in anderen Studien vorgeschlagen, bei jeglicher Art von Evaluation Profile oder Module anzulegen, in denen weitere Dimensionen berücksichtigt werden (Spiegelhalter u. Goldstein, 2009, S. 2). Dies deckt sich mit dem Ansatz, der in dieser Dissertation verfolgt wird, da sich dieser Ansatz von der reinen Wissenschaftsevaluation auf die Evaluation einer neuen Technologie oder einer wissenschaftlichen Entdeckung übertragen lässt (für Profile und Module zur Evaluation siehe auch Schmoch u. Schubert, 2009 und Lee u. a., 2009).

Der vierte Kommentar unterstützt generell die Aussagen der Studie von Adler u. Taylor. Zusätzlich wird aber ein „Wahrscheinlichkeitsmaß“ eingeführt, mit dessen Hilfe eine ausreichend sichere Evaluation von Wissenschaftlern möglich sein soll, so die Meinung der Autoren Lehmann u. a. (2009). Diese Art der Wahrscheinlichkeitsrechnung wurde auch in der Studie von Adler u. Taylor (2008, S. 11-12) angesprochen, um aufzuzeigen, dass einfache Rankings mithilfe des Impact Factors fehlerbehaftet sein können. Dies hängt mit einer interessanten Verteilung aller Zitationen eines Journals auf seine Artikel zusammen. Die Tatsache, dass auf der Grundlage von Datenbanken wie dem Web of Science oder SCOPUS zum ersten Mal in der Geschichte in großem Stil Zitationsanalysen durchgeführt werden konnten, führte zu der Erkenntnis, dass die Verteilung der Zitationen auf alle Publikationen innerhalb einer Zeitschrift nicht gleichmäßig, sondern schief ist. Meistens verteilen sich ca. 80% aller Zitationen auf 20% aller Publikationen (siehe zum Beispiel Abbildung 3.3). In dem Beispiel dieser Abbildung wurden alle Publikationen der vergangenen zehn Jahre der Zeitschrift „Nature“ nach der Anzahl ihrer Zitationen aufgelistet. 20% dieser Publikationen vereinen 86% aller Zitationen auf sich. Im Jahr 2005, so van Noorden (2010, S. 865) sorgten 25% der Artikel in Nature für 89% des Impact Factors dieser Zeitschrift.

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

Interessant ist auch, dass ca. 35% aller Publikationen in Nature in den vergangenen zehn Jahren nicht einmal zitiert wurden, obwohl sie in einer Zeitschrift veröffentlicht wurden, die einen der höchsten Impact Factor Werte überhaupt aufweisen kann. Die Interpretation dieser nicht-zitierten Artikel wird in der Literatur diskutiert. Da es nach Adams u. a. (2007, S. 330) nicht möglich ist, Artikel seltener als keinmal zu zitieren, kann diese Gruppe von Publikationen auch nicht differenzierter betrachtet werden. Hier werden also Publikationen, die überhaupt nicht gelesen wurden, mit jenen vermischt, welche vielleicht negative Resultate von Experimenten beschreiben und aus diesem Grunde nicht zitiert wurden. Deshalb wird von diesen Autoren empfohlen, die Analyse dieser Gruppe unter bestimmten Voraussetzungen zu vernachlässigen. Der hohe Anteil von nicht beziehungsweise kaum zitierten Artikeln deckt sich mit älteren Beobachtungen für andere Journale, zum Beispiel bei Garfield (1979, S.365-366) und Cole u. Cole (1972). Letztere Autoren untersuchten die Publikationen des Journals „Physical Review“ für das Jahr 1963. Dort hatten 47% aller untersuchten Publikationen keine oder nur eine Zitation aufzuweisen (bei den Nature Publikationen der vergangenen 10 Jahre lag dieser Anteil bei 43,16%). Weltweit wurden 37% aller wissenschaftlichen Publikationen nicht einmal zitiert (OECD, 2010, S. 98). Dies hat wichtige Implikationen für die Forschungsförderung, da die Tatsache der schiefen Verteilung von Zitationen gegen eine gleichmäßige Verteilung von Forschungsgeldern spricht.

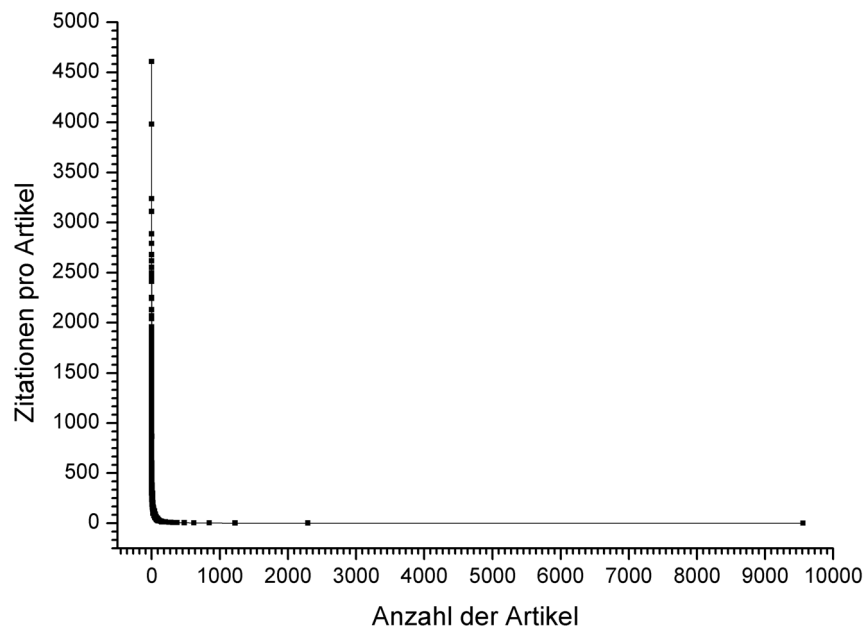


Abbildung 3.3: Verteilung von Zitationen auf Publikationen aus der Zeitschrift „Nature“ der Jahre 1999 bis 2008. 20% der Publikationen vereinen ca. 86% aller Zitationen auf sich.

3 Hintergrund

Eine ähnliche Verteilung für Kernjournale eines Fachs allgemein findet sich auch in „Bradfords Gesetz“. Dieses Gesetz sagt ebenfalls eine annähernde 80%-zu-20% Verteilung voraus (Bradford, 1985). Solche Verteilungen sind auch unter den Namen „Power Law“, „Paretoprinzip“ oder „Paretos Gesetz“ bekannt. Letztere sind benannt nach dem italienischen Ingenieur Vilfredo Pareto, der die Verteilungen als erster untersuchte (siehe Blümle, 1979, Newman, 2005 und Clauset u. a., 2009).

Bibliometrische Studien können auch zu Ergebnissen führen, die nicht unbedingt erwartet werden. Eine Studie kommt zum Beispiel zu dem Ergebnis, dass eine hohe Anzahl von Zitationen in den ersten Monaten nach der Veröffentlichung ein Indikator dafür ist, dass der Artikel auch später noch sehr häufig zitiert wird (Adams, 2005). Hierbei sollten jedoch auch Selbstzitationen beachtet werden, die nach einer Studie von Aksnes rund 29%-36% aller Zitationen ausmachen können (Aksnes, 2003). Auch diese sollten, je nachdem was gemessen wird, in eine Analyse eingehen. Abt stellt fest, dass die Anzahl der Publikationen einer wissenschaftlichen Disziplin von der Anzahl der Mitglieder in der jeweiligen wissenschaftlichen Fachgesellschaft (für die Physik zum Beispiel die Deutsche Physikalische Gesellschaft, DPG) abhängt, und dass sich die durchschnittliche Zahl der Publikationen pro Wissenschaftler in den vergangenen 30 bis 35 Jahren nicht verändert hat. Die Qualität der Paper hat sich jedoch verbessert, und sie beinhalten mehr Informationen. So hat sich die durchschnittliche Anzahl der Wörter in einem astronomischen Paper in den vergangenen 30 Jahren verdoppelt. Dies ist interessant, da die Studie ursprünglich davon ausging, dass instrumentelle Fortschritte in den einzelnen Disziplinen zu mehr Publikationen führen. Untersucht wurden in dieser Studie amerikanische Publikationen in den Disziplinen Physik, Astronomie, Geophysik, Mathematik und Chemie (Abt, 2007). Zusätzlich zu den bereits erwähnten Messgrößen wird in einigen Studien noch eine weitere, die bibliometrisch untersucht werden kann, hinzugezogen: die Anzahl der Autoren eines Papers. Abgesehen davon, dass diese Zahl keinen direkten Bezug zur Anwendbarkeit des Wissens aus der jeweiligen Publikation haben muss, haben verschiedene Studien zumindest belegen können, dass der Trend bereits seit Jahrzehnten dazu übergeht, Publikationen mit mehreren Partnern gemeinsam zu veröffentlichen (Whitfield, 2008). Die durchschnittliche Anzahl der Autoren eines Papers im Science Citation Index stieg zwischen 1980 und 2000 von 2,6 auf 4,2 an, und der Anteil der Publikationen mit nur einem Autor nahm im gleichen Zeitraum von 24,8% auf 10,7% ab (Glänzel u. Schubert, 2004, S- 262). Diskussionen über bibliometrische Studien entstehen also meistens genau dann, wenn eine solche Studie der allgemeinen Meinung zuwider läuft und zu einem überraschenden Ergebnis führt. Man könnte argu-

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

mentieren, dass dies auch in anderen empirischen Wissenschaften der Fall ist. Eine Studie erregt selten Aufmerksamkeit, wenn sie nur bestätigt, was bereits vermutet wurde.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch nochmal der vierte Kommentar zur Studie von Adler u. Taylor, welcher von einem Professors des Fachs Statistik stammt. Er sieht die bibliometrische Auswertung von wissenschaftlichen Publikationen ebenfalls kritisch, weist aber darauf hin, dass weiter geforscht werden muss, um mehr Wissen darüber zu erlangen, wie die Ergebnisse dieser Analysen zu deuten sind. Er lehnt diese Art der Analyse nicht ab, sondern verweist auf momentane mangelnde Kenntnisse (Hall, 2009, S. 2-3).

Adler u. a. (2009) haben abschließend zu der öffentlich geführten Diskussion eine Erwiderung veröffentlicht. Sie stellen fest, dass die Szientometrie aller Wahrscheinlichkeit nach weiter wachsen wird, und dass die mathematische Community sich aus diesem Grunde weiter mit den Implikationen der Analyse von Zitationen und wissenschaftlichen Publikationen beschäftigen muss, wobei sie, was das Finden einer „besseren“ Zitationsanalyse angeht, nicht enthusiastisch sind. Sie weisen außerdem auf drei Punkte hin, welche bei einer quantitativen Evaluation bedacht werden müssen, da sie allesamt subjektiv sind und nichts mit der Methode an sich zu tun haben. Zwei davon sind auch für diese Arbeit von Bedeutung. Zum Einen wird darauf hingewiesen, dass eine quantitative Methode leichter zu manipulieren ist als eine qualitative. Wissenschaftler können ihr Publikationsverhalten der Messung anpassen. Zum Anderen ist die Bewertung einer Messmethode subjektiv. Ein Wissenschaftler, dessen H-Index besonders hoch ist, so die Autoren, wird auch weniger dagegen haben, dass man ihn mithilfe dieses Indikators bewertet als ein Wissenschaftler, dessen H-Index sehr niedrig ist.

Ein anderes aktuelles Beispiel für die in meinen Augen nicht richtige Benutzung des Impact Factor als „excellence criterion“ ist eine Studie zu den wissenschaftlichen Publikationen Skandinaviens (Cadiou u. a., 2008). Diese Studie zeigt, dass die aktuelle Kritik an der Bibliometrie durchaus ihre Berechtigung hat. Auch Wolfgang Glänzel sagte während seines Vortrags bei der Konferenz „WissKom 2007“ in Jülich, dass das Gefährliche am H-Index die Tatsache ist, dass er relativ einfach zu berechnen ist und damit von vielen genutzt werden kann. Die Nutzung geschieht, so Glänzel, häufig unreflektiert und im falschen Kontext⁶.

Es lässt sich festhalten, dass die Kritik, die in der Studie von Adler u. Taylor vorgebracht wird, durchaus richtig ist. Allerdings sind diese Probleme und die Diskussion über sie fast so alt wie die Bibliometrie selbst (siehe zum Beispiel die bereits vorgestellten Studien von

⁶Mündlicher Beitrag im Rahmen des Vortrags „Bibliometrie zwischen Forschung und Dienstleistung“ auf der Wisskom Konferenz 2007 in Jülich. Siehe hierzu auch Haustein (2008)

3 Hintergrund

Cole u. Eales, 1917 oder Garfield, 1979 zu diesem Thema). Auch die Lösungsvorschläge der Kommentare und der Studie selbst sind bekannt und werden verfolgt. Aus der Diskussion lassen sich folgende Thesen⁷ ableiten, welche nicht nur für die Evaluation von Wissenschaftlern, sondern auch für die Evaluation einer wissenschaftlichen Entdeckung oder Technologie gelten (siehe auch Weingart, 2005):

1. Eine bibliometrische Analyse darf nicht als einziges Kriterium einer Evaluation genutzt werden. Mehrere Aspekte müssen betrachtet und nach Möglichkeit in einem Profil oder einem Gesamtportfolio zusammengefasst werden.
2. Idealerweise wirkt die Bibliometrie ergänzend zu einer qualitativen Analyse, zum Beispiel einer subjektiven Evaluation durch Experten (Peer-Review). Dieser Punkt wird von Adler u. Taylor in ihrer Erwiderung auf die Kommentare zu ihrer Studie betont.
3. Die Besonderheiten einzelner wissenschaftlicher Disziplinen sollten bei jeder bibliometrischen Analyse ausreichend berücksichtigt werden, sobald sie mehr als nur eine Disziplin betrachtet. Zu den Besonderheiten können beispielsweise die unterschiedlichen Zitierpraxen, die Nennung von Autoren oder die Anzahl der Publikationen gehören.
4. Der Datensatz, der für die Evaluation genutzt wird, muss die Publikationen des Untersuchungsobjekts ausreichend gut repräsentieren. So ist es nicht sinnvoll, einen Datensatz zu nutzen, welcher nur englische Publikationen beinhaltet, wenn die Technologie, die untersucht wird, in Deutschland erfunden wurde, und alle bisherigen Publikationen zum Thema auf Deutsch veröffentlicht wurden.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass längst nicht alle Experten der Meinung sind, dass Peer-Review-Verfahren faire und umfassende Bewertungsinstrumente sind. Marsh u. a. (2008) untersuchten beispielsweise das Peer-Review-Verfahren des australischen Wissenschaftsrates („Australia Research Council“). Dieser Rat vergibt nationale Fördergelder für verschiedene Forschungsprojekte. Marsh u. a. konnten zeigen, dass jene Peer-Review-Verfahren am verlässlichsten waren, in denen Experten von einem unabhängigen

⁷Thomson Reuters als Herausgeber des Web of Science hat einen Leitfaden für Zitationsanalysen veröffentlicht, welcher den hier abgeleiteten Thesen ähnlich ist. Abzurufen unter: <http://esitopics.com/interpreting.html> (abgerufen am 14. Dezember 2010)

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

Ausschuss als Prüfer bestimmt wurden (im Gegensatz zu Experten, die von den untersuchten Wissenschaftlern selbst vorgeschlagen wurden). Zugespitzt hat es Tom Jefferson folgendermaßen formuliert (Zitiert bei Enserink, 2001, S. 2188. Die korrigierte Fassung des Zitats, welche auch hier wiedergegeben wird, findet sich in Science, 2001, S. 1463. Letztere wird auch bei Marsh u. a., 2008, S. 161 erwähnt.):

„If I manufactured a drug called peer review and applied to the Food and Drug Administration for its registration on the basis of currently available evidence, they would collapse laughing.“

Dies zeigt in meinen Augen noch einmal deutlich, dass eine Ergänzung der qualitativen Peer-Review-Verfahren um quantitative bibliometrische Verfahren sinnvoll ist.

Die Kritik zu den unterschiedlichen Arten des Zitierens in den verschiedenen Disziplinen greift für die vorliegende Arbeit nicht, da auf der Ebene wissenschaftlicher Themen und Technologien und Institutionen analysiert wird. Einzelne Autoren oder Autorengruppen sind, abgesehen von den Autoren der Genesisartikel, nicht Untersuchungsgegenstand. Hier handelt es sich um Artikel, welche am Anfang eines neuen wissenschaftlichen Themas stehen (siehe Kapitel 4.2.1). Wann immer es möglich war, ein Thema einer Fachdisziplin zuzuordnen, wurden die fachspezifischen Besonderheiten in den entsprechenden Kontext gesetzt.

Ein weiterer Aspekt, der von Kritikern der Bibliometrie angeführt wird, betrifft nicht nur die Bibliometrie selber, sondern auch wissenschaftliche Publikationen an sich. Es handelt sich hierbei um die Frage, wie planbar wissenschaftliche Entdeckungen eigentlich sein können. Bereits 1945, nach dem Ende des zweiten Weltkrieges, machten Wissenschaftler in den USA darauf aufmerksam, dass es wichtig sei, gerade dieses Element des Zufalls in der Grundlagenforschung zu bewahren und zu fördern. Ihrer Meinung nach war es dabei von enormer Wichtigkeit, den Wissenschaftlern in der Grundlagenforschung ausreichend Freiraum für ihre Arbeit zur Verfügung zu stellen (Bush, 1960, S. 14)⁸.

Campanario wies in einer sehr interessanten Studie darauf hin, dass viele Forscher, deren Entdeckungen durch glückliche Zufälle (auch „Serendipity“ genannt) zustande kamen, dies in ihren Artikeln nicht erwähnten. Andererseits gibt es viele Forscher in unterschiedlichen Disziplinen, die die Wörter „surprising“ und „unexpected“ in ihren Publikationen benutzen. Sie tun dies vermutlich, weil ihnen ein theoretischer Rahmen fehlt, in den sie

⁸Ich zitiere hier und im Folgenden den Nachdruck des Berichts von Bush aus dem Jahre 1960, der zuerst im Jahr 1945 veröffentlicht wurde.

3 Hintergrund

ihre Ergebnisse einordnen können. Häufiger zitiert werden solche Arbeiten nicht (Jasienski, 2009). Campanario verwendete in seiner Studie die ISI⁹ Datenbank „Citation Classics“.¹⁰ In ihr wurden die Citation Classics Commentaries gesammelt, die von 1977 bis 1993 in der Zeitschrift „Current Contents“ erschienen. In diesen Kommentaren der Citation Classics kommen Wissenschaftler zu Wort, deren Artikel besonders häufig zitiert wurden und schon einige Jahre alt sind. Sie berichten unter anderem wie der Artikel zustande kam, welche Probleme sie in ihrer Forschung meistern mussten, oder warum der Artikel ihrer Meinung nach so häufig zitiert wurde. Dass Forscher dabei dem Zufall in ihrem ursprünglichen Artikel keinen Platz einräumen, sondern erst Jahre später zugeben, wie wichtig dieser war, erklärt Campanario damit, dass sich inzwischen ein Forschungsbild durchgesetzt hat, das davon ausgeht, dass große Forschungsvorhaben durchweg planbar sind. Es fällt einem Forscher demnach schwer zu sagen, dass seine große Entdeckung nicht das Ergebnis harter Arbeit, sondern ihm zufällig in den Schoß gefallen ist (Campanario, 1996). Wann immer der Zufall eine große Rolle spielt, sind die Instrumente der Bibliometrie meist nicht anwendbar, da es sich bei ihnen um objektive Messmethoden handelt und nicht um Kristallkugeln. Die Kritik betrifft hier nur jene bibliometrischen Indikatoren, die versuchen, eine qualitative Aussage über Forscher oder Institute zu machen. Die Messung von Zitationen eines Artikels, der das Ergebnis langjähriger, akribischer, wissenschaftlicher Arbeit ist, oder das Ergebnis von Zufall und Glück, ist zunächst wertfrei. Wenn aber die Aussage getroffen wird, dass der Autor des einen Artikels möglicherweise „exzellenter“ oder auf einer Rangliste weiter oben erscheint, dann wird die Messung problematisch, und die werden Aussagen möglicherweise falsch interpretiert. Bei der Footprintanalyse fällt dieses Problem nicht ins Gewicht, da mit ihr keine qualitative Aussage darüber gemacht wird, ob Wissenschaftler, Institute oder Länder „besser“ oder „schlechter“ als andere abgeschnitten haben. Die Ergebnisse der Footprintanalyse sind empirisch, und dabei ist es egal, ob die wissenschaftlichen Entdeckungen per Zufall, durch harte Arbeit oder beides entstanden sind.

Der zahlreichen Kritik an der Zitationsanalyse bezüglich der heterogenen Praxis des Zitierens (Zum Beispiel das Zitieren von Freunden, das Zitieren von Literatur, welche nichts mit dem zitierenden Artikel gemein hat oder das selektive Zitieren und bewusste Weglassen von Zitationen, um eigene Argumente zu bekräftigen. Siehe hierzu auch MacRoberts u. Ma-

⁹Beim ISI handelt es sich um das „Institute for Scientific Information“. Dort wurde der Science Citation Index Expanded entwickelt.

¹⁰„Citation Classics“ abrufbar unter: <http://www.garfield.library.upenn.edu/classics.html> (abgerufen am: 19. 11. 2009)

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

cRoberts, 1996 und Luukkonen, 1997) lässt sich entgegenhalten, dass bei einer ausreichend großen Stichprobe solche „Fehler“ nicht mehr signifikant sind (Wallin, 2005). Auf dieses Phänomen geht van Raan (1998) in seinem Artikel genauer ein. Nach ihm beruht ein großer Teil der Kritik an der Zitationsanalyse, auch an jener, die in dieser Arbeit durchgeführt wird, auf beispielhaften Ausnahmen. Er führt aus, dass man selbstverständlich Kritikpunkte an Zitationen eines einzelnen Papers anführen kann. So werden Wissenschaftler nie alle Paper zitieren, die für ihre Arbeit wichtig waren, ebensowenig wie sie alle Einflüsse aufzählen können, die für ihre Arbeit hilfreich oder nicht hilfreich waren. Es ist nach van Raan aber höchst unwahrscheinlich, dass bei einer Zitationsanalyse, die auf eine große Stichprobe angewendet wird, alle Autoren ihre Zitationen nach einem nicht nachvollziehbaren Muster gesetzt haben. Damit eine Zitationsanalyse keine nützlichen Muster innerhalb eines Datensatzes finden kann, welcher Natur auch immer, müssten alle Autoren alle Zitationen völlig willkürlich gesetzt haben. Dass dies nicht der Fall ist, beweisen zahlreiche bibliometrische Analysen sowie der gesunde Menschenverstand. Auch die Tatsache, dass alle Autoren nie alle relevanten Paper zitieren, ist mit einer hinreichend großen oder vollständigen Stichprobe kein Argument gegen eine Zitationsanalyse. Van Raan nutzt eine schöne Metapher, um zu zeigen, dass die Analyse von Zitationen durchaus von großem Nutzen sein kann. Er zieht hierfür einen Vergleich zwischen der Zitationsanalyse und der Thermodynamik. Die Zitationsanalyse anhand einzelner Paper durchzuführen, wäre ebenso wie die Thermodynamik mithilfe einzelner Moleküle zu erklären. Dies wäre ein sinnloses Unterfangen. Erst wenn man größere Mengen von Papern beziehungsweise Molekülen betrachtet, werden die Gesetzmäßigkeiten, denen sie folgen, klar. Hier stößt Van Raans Metapher meiner Meinung nach allerdings auch an ihre Grenzen, denn die Thermodynamik folgt klaren Gesetzen, die Erkenntnisse aus der Zitationsanalyse stellen dagegen Trends dar. Moleküle reagieren außerdem nicht auf eine Messung wie publizierende Wissenschaftler, die zum Beispiel ihr Publikationsverhalten zu optimieren trachten (West, 2010).

Hinweise darauf, dass die große Mehrheit der Wissenschaftler die Artikel zitiert, die auch tatsächlich mit ihrer eigenen Arbeit zusammenhängen, hat Baldi (1998) durch eine Studie gefunden. Dabei bediente sich Baldi Publikationen aus der Astrophysik. Er konnte außerdem zeigen, dass soziale Gründe (zum Beispiel die Bekanntschaft mit dem Autor oder die Herkunft eines Autors von einer renommierten Institution) für das Zitationsverhalten nicht ausschlaggebend waren. Baldi weist jedoch darauf hin, dass er nur einen Teil der Astrophysik untersucht hat. In anderen Disziplinen, zum Beispiel in den Sozialwissenschaften, so Baldi, könnten soziale Gründe ein größeres Gewicht haben. Von dem Autor Peter Weingart

3 Hintergrund

stammt in diesem Zusammenhang das Zitat, dass die Publikations- und Zitationsanalysen deshalb so wertvoll sind, weil sie „den Wissenschaftlern nur den Spiegel ihres eigenen Tuns“ vorhalten (Weingart, 2001, S. 318) und das Erkennen von Mustern erlauben. Auch er weist darauf hin, dass diese Art von Analysen die Expertenmeinung ergänzt und präzisiert, sie aber nicht ersetzt.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft Paper mit mehr als einem Autor. Der Anteil der Arbeit der einzelnen Autoren an der Publikation ist mit der Angabe des Autorennamens keineswegs transparent. In der Astronomie oder der Festkörperphysik gilt daher das Prinzip der „first-last-author-emphasis“. Dies bedeutet, dass in der Regel der erstgenannte Autor die meiste Arbeit für die Publikation geleistet hat, und der letztgenannte Autor der Gruppenleiter ist. Der letztgenannte Autor kann aber in der Chemie oder den Neurowissenschaften auch als sogenannter „Ehrenautor“ aufgeführt sein. Dabei kann es sich beispielsweise um den Institutsleiter oder den Doktorvater des Erstautors handeln. Die Autorennamen zwischen erst- und letztgenanntem Autor können ebenfalls unterschiedlich sortiert sein. In manchen Disziplinen, hier ist exemplarisch die Informatik zu nennen, wird dies einfach alphabetisch gemacht. Schließlich gibt es noch Publikationen mit hunderten von Autoren. Diese kommen häufig nach Experimenten mit Teilchenbeschleunigern vor, wo auch die beteiligten technischen Hilfskräfte als Autoren aufgeführt werden. Einen einzelnen Autoren zu identifizieren, welcher hier den Hauptteil der Arbeit gemacht hat, ist weder möglich noch praktikabel (siehe Schütte, 2009, S. 8-9 und Hsu u. Huang, 2009). Um diesem Problem zu begegnen, hat die Zeitschrift Nature bereits 1999 ein Verfahren eingeführt, welches den Autoren nahelegt, ein Statement darüber zu verfassen, was genau zu der jeweiligen Arbeit beigetragen wurde. Auf breiter Basis hat sich dieses System allerdings noch nicht durchgesetzt (Campbell, 1999 und Zhang, 2009). Für diese Arbeit ist dies aber unproblematisch, da die Anzahl der Autoren keinen Einfluss auf die hier berechneten Indikatoren hat.

Die Analysen in der vorliegenden Dissertation haben den Vorteil, dass die untersuchten Technologien und wissenschaftlichen Entdeckungen nicht danach evaluiert werden, wie hoch ihre Qualität ist. Von Interesse ist die Publikations- und Zitationsaktivität der Publikationen, welche sich mit der jeweiligen Technologie oder Entdeckung auseinandersetzen. Aber es ist gerade die Messung der Qualität, auf die sich die meiste Kritik an der Bibliometrie richtet. So kann tatsächlich bestätigt werden, wie es Adler u. Taylor (2008) in ihrer Studie behaupten, dass ein häufig zitierter Artikel nicht unbedingt eine hohe Qualität haben muss. Ein häufig zitierter Artikel spricht aber dafür, dass er häufig rezipiert beziehungsweise genutzt wurde, egal ob positiv oder negativ (siehe dazu auch Garfield, 1979,

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

S.363). Dies lässt wiederum eine Aussage über die Aktivität zu, welche sich innerhalb des Themas des Artikels entfaltet.

Es sei noch auf eine berechtigte Kritik hingewiesen, die aber nur bedingt die Ergebnisse einer bibliometrischen Analyse relativiert, nämlich auf ein Phänomen, das unter den Namen „Publish or perish“ (Hahn, 2009, S. 107 und Schnabel, 2009, S. 2), „Salami“-Taktik (Bornmann, 2011, S. 174) oder auch „Least Publishable Unit“ (Schuh, 2009, S. 13 und Gritzmann, 2009, S. 83) bekannt ist. Die Kritik bezieht sich auf die Tatsache, dass die Messungen, die durch Bibliometriker durchgeführt werden, auch das Messobjekt, also zum Beispiel die Wissenschaftler oder Institutionen, verändert. Messobjekte, welche schon einmal bibliometrisch vermessen wurden, setzen sich mit den Indikatoren und ihrer Berechnung auseinander und passen ihr Publikationsverhalten meist entsprechend an (Bornmann, 2011). Seitdem in einigen Staaten die Verteilung von Fördergeldern für Forschungsinstitutionen unter anderem an bibliometrische und informetrische Indikatoren gekoppelt ist, hat die Bedeutung und Analyse dieser Indikatoren stark zugenommen. Solche Indikatoren können sein:

- Die Höhe der eingeschriebenen Studenten an einer Universität.
- Die Höhe der erfolgreichen Dissertationen an einer Universität oder einem wissenschaftlichen Institut.
- Die Anzahl der Publikationen einer Forschungseinrichtung oder die Anzahl der Publikationen in Zeitschriften mit einem hohen Impact Factor.
- Die Höhe der Drittmittel, die ein Forschungsinstitut pro Jahr einnimmt.
- Die Anzahl der Träger international anerkannter Forschungspreise (z. B. des Nobelpreises, der Fields Medal¹¹ etc.)

Diese Liste ist längst nicht vollständig, sie soll nur einen kleinen Überblick darüber geben, was an Indikatoren untersucht wird. Diese Entwicklung hat dazu geführt, dass Wissenschaftler, welche früher vielleicht einen großen Artikel veröffentlicht hätten, nun mehrere Paper mit jeweils einzelnen Teilen ihrer Ergebnisse veröffentlichen. Wissenschaftler sehen sich gezwungen dies zu tun, damit sie in bibliometrischen Rankings nicht auf den unteren

¹¹Hierbei handelt es sich um eine Auszeichnung für Mathematiker, welche allgemein als die höchste Auszeichnung mathematischer Arbeit angesehen wird. Siehe: http://www.fields.utoronto.ca/aboutus/jcfields/fields_medal.html (abgerufen am 22. Februar 2011)

3 Hintergrund

Rängen landen. Mit bibliometrischen Indikatoren lässt sich messen, dass sich seit der Einführung bibliometrischer Methoden in die Evaluation von Forschungsarbeit das Publikationsverhalten der untersuchten Forscher verändert. In Spanien wurde nach der Einführung eines Gesetzes, welches die Verteilung von Boni für Publikationen in Zeitschriften mit hohem Impact Factor vorsah, beobachtet, dass sich der wissenschaftliche Output in kürzester Zeit verdoppelte. Dies war, den Autoren nach, sicher nicht einer Erhöhung des Budgets für die Forschung oder ähnlicher Faktoren zuzuschreiben (Jiménez-Contreras u. a., 2002). Osuna u. a. (2011) führen dieses Wachstum, zumindest teilweise, auf andere Effekte, wie zum Beispiel stärkere internationale Forschungs Kooperationen oder die Zunahme der Anzahl wissenschaftlicher Mitarbeiter im spanischen Forschungssektor, zurück. Ein weiteres Beispiel ist die Publikationspraxis in Australien in den späten 80er Jahren und zu Anfang der 90er Jahre. Dort wurden Universitäten Fördergelder analog zu der Höhe der Publikationszahlen in Peer-Reviewed-Zeitschriften zugesprochen. Als Ergebnis dieser Förderpolitik konnte Australien seinen Anteil an Publikationen im Science Citation Index zwar um 25% erhöhen, fiel im „Citation Impact“-Ranking der OECD-Staaten jedoch von Platz sechs auf Platz zehn (Frey u. Osterloh, 2010). In Australien hatte also die Publikationsaktivität zugenommen, die Wahrnehmung der publizierten Artikel aber abgenommen. In Deutschland wurde 2009 ein Bericht veröffentlicht, der die „Die Bundesländer im Innovationswettbewerb“ beschreibt. Dort wird auch ein bibliometrischer/patentometrischer Indikator („Patentanmeldungen aus der Wissenschaft je Einwohner“) für die Forschung erhoben, um eine Evaluation und einen Vergleich der Bundesländer zu ermöglichen (Berthold u. a., 2009, S. 6). Auch hier erhofft man sich vermutlich, durch die Erhebung dieser Kennzahlen eine Erhöhung derselben zu bewirken. In Mexiko wurde ein solcher bibliometrischer Indikator bereits 1984 eingeführt. Die Praxis der Evaluation von Wissenschaftlern ist dort aber ebenfalls umstritten (Ricker u. a., 2009). Ein weiteres Beispiel für einen Staat, der beginnt seine Publikationsaktivitäten im Bereich der Forschung bibliometrisch zu vermessen, ist die Schweiz (Grange u. a., 2007).

Die Behauptung, die Einführung bibliometrischer Methoden in die Forschungsevaluation würde automatisch zu einer qualitativ besseren Forschung führen, ist diesen Beispielen nach falsch. In vielen Fällen versuchen Wissenschaftler nach einer solchen Einführung ihre Position innerhalb der Evaluation zu optimieren. Dies wird zum Beispiel durch die oben beschriebene Praxis („Salami“-Taktik) bewerkstelligt, indem Ergebnisse in mehrere Paper gesplittet werden, damit eine höhere Anzahl von Publikationen vorhanden ist. Andererseits haben Mabe u. Amin (2002) eine Studie vorgelegt, die zeigt, dass die Anzahl der Publikationen pro Autor nicht zugenommen, sondern im Gegenteil, sogar abgenommen hat. Sie

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

berücksichtigen dabei die Kooperationen der Wissenschaftler bei der Publikation eines gemeinsamen Papers und kommen zu dem Schluss, dass von 1954 bis 1998 der Wert „papers published per unique author per annum“ von 1,00 auf 0,80 gefallen ist (Auch Abt, 2007, bereits weiter oben beschrieben, kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Er gibt an, dass der Wert, seiner Messung nach, über die Jahre konstant geblieben ist.). Aber selbst wenn das Phänomen der „Least Publishable Unit“, wie beim Beispiel der australischen Universitäten gezeigt, existiert, trägt doch die Bibliometrie nicht die alleinige Verantwortung für ein solches Verhalten. Dieses Phänomen ist Teil des allgemeinen wissenschaftlichen Betriebs und verfälscht in meinen Augen nicht die Ergebnisse einer bibliometrischen Studie, da es keine alternative Publikationspraxis gibt, die messbar wäre (siehe De Solla Prices Beschreibung der Ursprünge wissenschaftlicher Artikel in Kapitel 3.3). Außerdem scheint es sich bei solchen „Publikationstaktiken“ um die Ausnahme und nicht die Regel zu handeln.

In diesem Zusammenhang ist eine Umfrage der Zeitschrift Nature interessant. Auf die Frage, welche Kriterien genutzt werden sollten, um sie zu bewerten, wurden folgende vier Antworten am häufigsten von den befragten Wissenschaftlern genannt:

1. „Publication in high-impact journals“
2. „Grants earned“
3. „Training and mentoring students“
4. „Number of citations on published research“

Die Ränge 1 und 4 entsprechen grob den beiden wichtigsten bibliometrischen Messgrößen. Wissenschaftlern ist also anscheinend nicht nur bewusst, wie sie bewertet werden (was man anhand der geäußerten Kritik an bibliometrischen Methoden erkennen kann), sondern die gemessenen Faktoren entsprechen prinzipiell auch den eigenen Vorstellungen von dem, was gemessen werden sollte (Abbott u. a., 2010, S. 862). Hier wird erneut deutlich, dass nicht bibliometrische Analysen an sich kritisiert werden, sondern die Art, wie sie teilweise angewandt werden.

Häufig wird der Kritikpunkt der Sprachvoreingenommenheit angeführt. Dies bedeutet, dass sich in der Wissenschaft inzwischen weltweit und in den meisten Disziplinen der Natur- und Ingenieurwissenschaft die englische Sprache durchgesetzt hat. Damit geht einher, dass der Anteil der Publikationen in anderen Sprachen immer weiter abnimmt. Auch im Web of Science und anderen Datenbanken (siehe zum Beispiel Valkimadi u. a., 2009) ist die vorherrschende Sprache der dort verzeichneten Publikationen Englisch. Dabei ist die Rolle

3 Hintergrund

dieser Sprache inzwischen so dominant, dass in der vorliegenden Arbeit darauf verzichtet wurde, diese Voreingenommenheit in besonderem Maße zu berücksichtigen.

Ein weiterer Kritikpunkt zielt auf die Zeit ab, welche eine Publikation braucht, um publiziert zu werden. Von der Fertigstellung bis zur Publikation eines Artikels in einer Fachzeitschrift vergehen häufig mehrere Jahre. Die Zitationsanalyse erfasst damit nicht die aktuelle Forschung sondern ein Bild, das bereits veraltet ist. Luwel u. Moed (1998) kommen in ihrer Studie auf Werte zwischen drei Monaten und über zwei Jahren, bevor Autoren ihre Arbeit in Fachzeitschriften veröffentlicht haben. Allerdings ist die Verzögerung abhängig von der wissenschaftlichen Fachrichtung, in welcher publiziert wird. In den Bereichen „technical science“ und Mathematik ist die Verzögerung größer als beispielsweise in den Naturwissenschaften. Aber es gibt auch innerhalb der Fachrichtungen große Unterschiede. In dieser Arbeit wurde die Publikationsverzögerung nicht näher berücksichtigt, da bei den untersuchten Themen verschiedene wissenschaftliche Fachrichtungen und Publikationen aus mehreren Zeitschriften gemeinsam analysiert wurden, und damit eine Differenzierung nicht sinnvoll ist. Ebenso ist die Publikationsverzögerung eine Tatsache der vorliegenden Daten, welche bei der Interpretation beachtet werden sollte, in der Analyse aber keine Unterschiede macht.

Ein weiterer Diskussionspunkt der Zitationsanalyse ist der sogenannte „Matthäus-Effekt“. Als „Matthäus-Effekt“ bezeichnet man einen der bekanntesten Effekte, welcher in der Bibliometrie immer wieder beobachtet wird.¹² Wissenschaftler, die bereits häufig zitiert wurden, werden noch häufiger zitiert. Im Gegenzug ist es für Wissenschaftler, die selten zitiert werden, schwierig, öfter zitiert zu werden (Merton, 1968). Empirisch konnte dieser Effekt von Manfred Bonitz für Länder nachgewiesen werden. Er beobachtete, dass einige wenige Länder, die bereits viele Zitationen erhalten haben noch mehr bekommen als erwartet, während viele Länder, welche wenige Zitationen bekommen haben weniger bekommen als erwartet (Bonitz u. a., 1997). Larivière u. Gingras (2010) wiesen den Matthäus-Effekt auf Zeitschriftenebene nach. Der Matthäus-Effekt ist ein weiterer Kritikpunkt der Zitationsanalyse, da er ein Beispiel dafür ist, dass Zitationen von Autoren nicht objektiv gesetzt werden, sondern auch andere Faktoren wie wissenschaftliches Prestige einer Zeitschrift oder eines Landes bei der Wahl der Literatur eine Rolle spielen. In der vorliegenden Arbeit finden sich Beispiele dafür, dass Artikel, die zu einem Thema eigentlich hätten zitiert werden müssen, nicht zitiert wurden, weil sie nicht auf Englisch publiziert wurden (siehe

¹²Benannt ist der Effekt nach dem Matthäusevangelium, in dem geschrieben steht: „Denn wer da hat, dem wird gegeben werden, dass er Fülle habe; wer aber nicht hat, von dem wird auch genommen, was er hat.“– Mt 25,29 (Nach Übersetzung von Martin Luther in der revidierten Fassung von 1984.)

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

zum Beispiel den Genesisartikel in Kapitel 5.2.3). Der Matthäus-Effekt scheint aber bei Zitationsvorgängen generell zu wirken und gilt damit für alle Publikationen. Aus diesem Grunde wurde er in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

3.3.2 Patente als Quellen bibliometrischer Analysen

Patente und wissenschaftliche Publikationen stellen wichtige Dokumente zur Kommunikation zwischen Wissenschaft und Technologie dar. In der bibliometrischen Forschung wird versucht, Ähnlichkeiten zwischen diesen beiden Publikationstypen zu finden, bisher allerdings nur mit mäßigem Erfolg (siehe zum Beispiel Magerman u. a., 2010). Es gibt klare Unterschiede zwischen wissenschaftlichen Publikationen auf der einen und Patenten auf der anderen Seite. Patente stellen Publikationen dar, die der Definition nach eine Anwendung voraussetzen. Damit ein Patent erteilt und somit ein temporäres Monopol auf eine Erfindung bewilligt wird, muss die Erfindung drei Voraussetzungen erfüllen (für eine ausführlichere Beschreibung der Voraussetzungen siehe Patentgesetz, 2008, § 1):

„Patente werden für Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt, sofern sie neu sind, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind.“

Diese Bedingungen unterscheiden sich von den Bedingungen für die Veröffentlichung eines wissenschaftlichen Artikels. Das in einer wissenschaftlichen Publikation mitgeteilte Wissen muss zwar ebenfalls neu, aber weder gewerblich anwendbar sein, noch eine erfinderische Tätigkeit erkennen lassen. Es existieren noch weitere Unterschiede zwischen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Patenten:

- Bei wissenschaftlichen Publikationen sind es die Autoren, welche die Werke zitieren, die sie in ihrer Arbeit benutzt haben. Bei einem Patent setzt der Patentprüfer die Zitationen auf das Deckblatt. Dies kann dazu führen, dass Werke und Patente zitiert werden, die dem eigentlichen Antragsteller nicht bekannt sind und auch nicht benutzt wurden. Antragsteller neigen außerdem dazu, möglichst spärlich Zitationen zu setzen, da sie ihr Patent nicht angreifbar machen wollen. Für den Prüfer stellen die Zitationen, die er auswählt, dagegen Vorarbeiten dar, um das Patent in einen entsprechenden technischen und wissenschaftlichen Kontext zu stellen. Eine solche Einschätzung ist zu einem großen Teil subjektiv. Der Prüfer hat jedoch den Vorteil, dass er die Zitationen, die die Antragsteller gesetzt haben, noch einmal überprüfen

3 Hintergrund

und ergänzen kann. Außerdem finden sich in der Literatur Hinweise darauf, dass sich die Unterschiede zwischen den Patentprüfer- und Autorenzitationen immer stärker verwischen (Narin u. Noma, 1985). Meyer (2000b) konnte mit einer Stichprobe zeigen, dass die meisten Autorenzitationen von den Patentprüfern auf das Deckblatt übernommen werden. Alcácer u. a. (2008) kommen dagegen zu dem Ergebnis, dass der Anteil der Zitationen von Patentanmeldern und -prüfern abhängig ist vom Technologiefeld, der Herkunft, sowie der Produktivität des Patentanmelders.

- Die Voraussetzungen der Autoren sind ebenfalls unterschiedlich. Bei publizierenden Wissenschaftlern kann davon ausgegangen werden, dass sie sich mit der Materie, über die sie schreiben, zumindest grundsätzlich auskennen. Bei einem Erfinder, der einen Patentantrag stellt, kann grundsätzlich nur davon ausgegangen werden, dass er die Anwendung, welche durch ein Patent geschützt werden soll, kennt und versteht, nicht aber unbedingt den fachlichen Hintergrund.
- Ein Patent zielt darauf ab, einen Mangel, den es vor der jeweiligen Erfindung gegeben hat, zu beseitigen. Technische Lösungen werden beschrieben. Teilweise können diese aber auch spekulativ sein.
- In seiner Analyse von Zitationen auf NPL und Patentliteratur (PL) kommt Nagaoka (2007) zu dem Ergebnis, dass die Qualität eines Patents von der Häufigkeit und der Aktualität der dort gesetzten NPL-Zitationen abhängen kann. Dieser Effekt kommt in verschiedenen Technologiefeldern (untersucht wurden die Felder „IT“, „Biotechnology“ und „Pharmaceuticals“) vor. Ein ähnlicher Effekt ist bei Zitationen in wissenschaftlichen Publikationen nicht zu beobachten.

Meyer (2000c, S. 95) zitiert in einer Studie über Patentzitationen eine grundlegende Kritik an der Zitationsanalyse: „We do not have a clear idea what we are measuring when we analyze citation data“. Auf Seite 97 dieser Studie beschreibt er die Unterschiede zwischen wissenschaftlichen Zitationen in Zeitschriften („[A] private process with a public process“) und Zitationen in Patentschriften („Essentially a social process“). Meyer weist daraufhin, dass sich die Art der Patentprüfung in den Vereinigten Staaten von Amerika (also bei dem United States Patent and Trademark Office – USPTO) von der in Europa (also beim European Patent Office – EPO) unterscheidet. In Interviews mit Patentprüfern hat Meyer Hinweise darauf gefunden, dass diese unterschiedliche Prüfung von Patenten auch Auswirkungen auf die Zitationshäufigkeit haben kann. Aus diesem Grund sollen an

3.3 Kritische Betrachtung der Bibliometrie und der Zitationsanalyse

dieser Stelle kurz die Unterschiede der beiden Regionen verdeutlicht werden, die Meyer in seiner Studie beschreibt. Dabei muss bemerkt werden, dass es in Europa selbst ebenfalls Unterschiede in den verschiedenen Staaten gibt. Trotzdem wird nicht auf die nationalen Patentbüros eingegangen. Generell haben US-Patente im Vergleich mit europäischen eine höhere Anzahl an Patentzitationen aufzuweisen. Dies hängt damit zusammen, dass in den USA alle Patentansprüche auf Gültigkeit geprüft werden, wohingegen in Europa besonders der Hauptanspruch geprüft wird, sekundäre Ansprüche dagegen nur am Rande. Ein weiterer Unterschied ist die Ausbildung der Patentprüfer, welche in Europa generell einen höheren Standard aufweist als in den USA. Als wichtigsten Grund für die unterschiedliche Häufigkeit von Zitationen führt Meyer ein US-Gesetz an, welches Antragsteller dazu verpflichtet, in einem Patent alle ihnen bekannten Vorarbeiten, die mit dem eigenen Patent zusammenhängen, zu nennen. Nichtbeachtung dieses Gesetzes könne nach Meyer dazu führen, dass der Patentantrag abgelehnt wird. In Europa dagegen sei es den Antragstellern freigestellt, ob sie vorherige Arbeiten zitieren möchten oder nicht. Dies könnte erklären, warum US-Patente generell mehr Zitationen aufweisen. Dies bedeutet aber nicht, so Meyer weiter, dass alle genannten Zitationen für das jeweilige Patent relevant sind. Ein Beispiel, dass in US-Patenten eher zuviel als zuwenig zitiert wird, findet Meyer in einer Anekdote eines finnischen Patentprüfers, dem ein US-Patent für ein Eisbrecherschiff vorlag: Dort wurden nicht nur US-Patente zitiert, die sich mit Schiffen und Booten beschäftigten, sondern auch solche, die Methoden beschreiben, Eis für Getränke zu brechen. Nichtsdestotrotz führt die umfangreichere Zahl an Zitationen in US-Patenten nach Meyer dazu, dass ein großer Teil der Vorarbeiten tatsächlich genannt wird. Die von ihm beschriebene Praxis, bei rechtlichen Schritten gegen europäische Patente zunächst das entsprechende US-Patent und seine Zitationen zu untersuchen, spricht dafür. Zum Schluss stellt Meyer in seiner Studie fest, dass sich Zitationen in wissenschaftlichen Publikationen und Patenten zwar zum Teil unterscheiden, aber doch ähnlich genug sind, um Ergebnisse aus dem einem Bereich als Inspiration für den anderen zu benutzen (Meyer, 2000c, S. 106-111).

In der vorliegenden Arbeit werden Patentzitationen genutzt, um eine Brücke zwischen der Welt der Patente und jener der wissenschaftlichen Publikationen zu schlagen. Dies ist möglich über die sogenannten Non-Patent-References (NPR), die sich in Patenten finden. Diese werden auch Nicht-Patent-Literatur-Zitationen, kurz NPL-Zitationen, genannt. Dabei handelt es sich um Zitationen auf Publikationen, welche keine Patente sind. Nach Meyer (2000c, S. 98) geben die Zitationen, welche sich auf dem Deckblatt der Patente befinden, eine Einschätzung der technischen Relevanz des jeweiligen Patentes wieder. Damit sind

3 Hintergrund

sie für die vorliegende Dissertation hervorragend geeignet. Meyer weist auch darauf hin, dass die Patentschriften der USPTO für Untersuchungen, die sich mit der Verbindung von Wissenschaft und Technik auseinandersetzen, besser geeignet sind (Meyer, 2000c, S. 112). Aber auch Patente des EPO wurden genutzt. Dort werden Zitationen nach einer speziellen Klassifikation verteilt: Ein „X“ steht dafür, dass die Zitation direkt mit der beanspruchten Erfindung zusammenhängt. Ein „Y“ kennzeichnet eine Reihe von Zitationen, die, wenn sie gemeinsam betrachtet werden, ebenfalls einen Zusammenhang zu der Erfindung herstellen. Außerdem werden beim EPO Zitationen mit einem „A“ klassifiziert. Dieser Buchstabe steht für Zitationen, die den allgemeinen technischen Hintergrund der Erfindung beschreiben (Schmoch, 1993, S. 194). Auch die World Intellectual Property Organization (WIPO) nutzt eine solche Klassifikation. Diese zusätzliche Klassifikation von Patentzitationen wurde aber wegen einer fehlenden vergleichbaren Klassifikation bei US-Patenten in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Singh (2007, S. 11) bemerkt ebenfalls, dass bei der Untersuchung von Patentzitationen kein Vergleich zwischen Patentdaten verschiedener Patentämter möglich ist. Dies ist bei Untersuchungen verschiedener patentierender Unternehmen oder Länder nachvollziehbar. Bei der Untersuchung von wissenschaftlichen Themen und Technologien, wie in der vorliegenden Arbeit, sollten aber alle vorhandenen Patentdaten genutzt werden, um ein möglichst vollständiges Bild über die Patente des jeweiligen Themas zu bekommen. Außerdem kann dank des Derwent Innovations Index auf eine Datenbank zugegriffen werden, welche von Experten zusammengestellte und kontrollierte Patentfamilien beinhaltet (Martinez, 2011).

Trotz aller Möglichkeiten, die Patente für die Footprintanalyse bieten, ist zu bedenken, worauf Baldini (2006b, S. 203) in einer Studie hingewiesen hat: „[Patents are] an imperfect indicator: not all inventions are patented and patents differ greatly in the magnitude of inventive output“.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

In diesem Kapitel wird die Footprintanalyse beschrieben. Einführend wird auf den Stand der Forschung eingegangen und werden aktuelle Methoden beschrieben, welche denen der Footprintanalyse ähneln. Danach werden die einzelnen Methoden der Footprintanalyse genauer erläutert. Die jeweils relevante Literatur wird in den Unterpunkten angegeben.

Stokes (1997, S.78-79) erwähnt, dass stets eine vorherige („ex ante“) oder nachfolgende („ex post“) Klassifizierung von Forschung möglich ist. „Ex ante“ bedeutet, dass es einerseits möglich ist, Forschung zu klassifizieren bevor Forschung überhaupt betrieben wird. Eine solche Klassifizierung wird zum Teil von der National Science Foundation bei der Auswahl förderungsfähiger Themen der Grundlagenforschung durchgeführt. Nach Stokes sind „ex ante“-Klassifizierungen nötig für die „science and technology policy“. Fast alle in diesem Kapitel beschriebenen Studien verfolgen dagegen eine „ex post“-Klassifizierung, also eine Bewertung bereits erfolgter Forschung. Damit wird eine Klassifizierung erst durchgeführt, wenn die Forschung bereits zu Ergebnissen geführt hat. Die Analyse dieser Ergebnisse kann dann extrapoliert und für zukünftige Entscheidungen genutzt werden. In der vorliegenden Arbeit sind diese Ergebnisse wissenschaftliche Publikationen und Patente.

4.1 Theoretische Grundlagen – Stand der Forschung

Die technologische Vorausschau kann mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt werden. Zum Beispiel werden in Delphi-Studien Experten mithilfe von Fragekatalogen nach Themen befragt, die ihrer Meinung nach zukünftig im Bereich der Wissenschaft und Technik wichtig werden könnten. Dabei gibt es unterschiedliche Varianten dieser Studienart. Sie unterscheiden sich darin, wieviele Diskussions- und Befragungsphasen existieren. Die Delphi-Methode ist eine subjektive, da sie sich auf die Meinungen von Fachleuten stützt und anschließend versucht, einen Konsens als Ergebnis zu präsentieren. Andere Methoden

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

umfassen Szenario- und Modellierungstechniken, welche sowohl subjektive als auch quantitative Elemente in sich vereinigen (Lemos u. Porto, 1998). Expertenmeinungen können beispielsweise durch bibliometrische Analysen relativiert oder bekräftigt werden. Zuletzt gibt es noch Methoden, die versuchen, sich ausschließlich auf quantitative Methoden zu stützen. Dazu gehören die Analyse von Statistiken und die Extrapolation von Trends. Die Footprintanalyse stützt sich größtenteils auf quantitative Daten, beinhaltet aber auch eine Expertenbefragung.

Ausschlaggebend für die Idee der Footprintanalysen sind die Untersuchungen und Ergebnisse von Schmoch (1997). Schmoch beschäftigt sich seit über zehn Jahren mit der Frage, wie sich Wissenschaft und Technik gegenseitig beeinflussen (Grupp u. Schmoch, 1992). Seine Untersuchungen und Ergebnisse werden in Kapitel 4.2 näher diskutiert.

Eine der Footprintanalyse ähnliche Vorgehensweise wurde von Choi u. Park (2009) durchgeführt. Sie untersuchten Zitationen, welche von Patenten auf andere Patente gesetzt werden und so ein Netzwerk bilden. Je nach untersuchtem Thema können diese Netzwerke eine hohe Komplexität annehmen und unübersichtlich werden. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen und einen Entwicklungspfad einer Technologie abbilden zu können, konzentrierten die Autoren ihre Analyse auf die Stärke der Verbindungen zwischen Patenten. So wurden nur jene Patente betrachtet, die sehr häufig von anderen Patenten zitiert wurden. Als Anfang eines Entwicklungspfades wählten sie sogenannte „origin patents“ aus. Das Konzept ähnelt dem in dieser Arbeit genutzten Konzept des „Genesisartikels“ (siehe Kapitel 4.2.1).

Knaf u. Heubach (2008) vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO haben eine Methode zur Bestimmung des „Reifegrads einer Technologie“ entwickelt, das „Technologieradar“ genannt wird. Das Technologieradar stützt sich auf die Annahme, dass in der Innovationsforschung nach „ähnlichen zeitlichen Mustern“ gesucht wird, die von verschiedenen Technologien durchlaufen werden. Anhand dieser Methode wird jeder untersuchten Technologie („Testtechnologie“) eine so genannte „Referenztechnologie“ zur Seite gestellt. Die Referenztechnologien lassen sich mit der „Evaluierung der Footprintanalyse“ in dieser Arbeit vergleichen, da es sich hierbei um Technologien handelt, welche bereits einen vollständigen Entwicklungszyklus hinter sich haben (siehe Kapitel 5.1). Mithilfe dieser Referenztechnologien wird nun der Verlauf verschiedener „Indikatoren“ (Die Autoren benutzen eine andere Definition für Indikatoren. In der vorliegenden Arbeit würde es sich um „Messgrößen“ handeln.) verglichen. Dies geschieht für die Test- wie auch für die Referenztechnologien. Indikatoren beziehungsweise Messgrößen können zum Beispiel „Anzahl der Patente“, „Anzahl der Publikationen der Primärliteratur“ oder „Anzahl der Zitate der

Technologie (mit Anwendungsfeld)“ sein. Ähnelt der zeitliche Verlauf der Indikatoren der Testtechnologie jenem der Referenztechnologie, dann kann man, so die Annahme dieser Studie, davon ausgehen, dass sich die Testtechnologie auch weiterhin ähnlich entwickeln wird. Hier wird anhand ausgewählter Beispiel- und ihrer Referenztechnologien von der Vergangenheit in die Zukunft extrapoliert. Die Studie geht von einem linearen Entwicklungsprozess aus, der in dieser Dissertation jedoch nicht für alle Entwicklungen angenommen wird (siehe Kapitel 4.2.6). Für jeden Indikator beziehungsweise für jede Messgröße wird in der Studie in jeder Phase des linearen Entwicklungsprozesses ein typischer Verlauf vorausgesetzt. Der auf Seite 152 beschriebene Technologieprozess gliedert sich in:

1. „Initiierung“
2. „Inkubation“
3. „Modifikation“
4. „Applikation“

In der Studie werden zwei ausgesuchte Technologien miteinander verglichen, die „Affinitätschromatographie“ sowie das „Molekulare Prägen“. Allerdings bleibt es in der Studie etwas vage, was die Nutzung des „Technologieradars“ betrifft. Die genutzten Ähnlichkeitsbeziehungsweise Distanzmaßstäbe sind von der jeweiligen Technologie abhängig und erschweren damit einen Vergleich. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Auswahl einer Referenztechnologie letztlich, analog zur Auswahl eines Genesisartikels (dazu mehr im Kapitel 4.2.1), eine subjektive Entscheidung ist.

In einer Untersuchung von Chao u. a. (2007) wurden anhand von bibliometrischen Indikatoren die Publikationen des Themas „RFID-Chips“ (Radio-frequency identification) untersucht. Hier wurde eine bibliometrische Analyse mit einer historischen Übersicht kombiniert. Die Autoren der Studie kommen zu dem Schluss, dass eine immer größere Zahl von Unternehmen RFID-Chips einsetzt. Dies, kombiniert mit den Ergebnissen der historischen Analyse der Technologie, nehmen sie als Indikator dafür, dass dieses Technologiefeld auch in Zukunft stark wachsen wird. Dieser Artikel ist jedoch von Ho (2009) in einem Kommentar bezüglich mancher methodischer Punkte kritisiert worden. Meiner Meinung nach sind einige der Kritikpunkte berechtigt, wie zum Beispiel die Tatsache, dass der Impact Factor als Maß angegeben dann aber nicht benutzt wird. Andere Kritikpunkte, wie zum Beispiel die unterschiedlichen Zahlen bei den Rankings der Länder und Institutionen, lassen sich dagegen durch einen unterschiedlichen Zugang zum Web of Science erklären.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

In einer weiteren Untersuchung beschäftigten sich Daim u. a. (2006) mit der Frage, wie sich die Technologiefelder „Brennstoffzellen“, „Nahrungssicherheit“ und „Optische Disks“ in Zukunft entwickeln werden. Besonders interessant ist der Ansatz, bibliometrische Daten mit Wachstumskurven zu kombinieren. Ähnlich sind auch Bengisu u. Nekhili (2006) vorgegangen, die zwanzig „Emerging Technologies“ untersucht haben. Sie nutzten dabei die Datenbanken des Web of Science und die Patentdatenbank des amerikanischen Patentamtes. Diese Studie ist ein Beispiel für die Kombination quantitativer bibliometrischer Messwerte mit qualitativen Studien, da die zwanzig „Emerging Technologies“ aus einer türkischen Delphi-Studie stammten. Diese untersuchte die für die Türkei möglicherweise wichtigen Themen aus Wissenschaft und Technik des Jahres 2023. Die Autoren unterzogen dabei die von den befragten Experten genannten Themen einer bibliometrischen Analyse. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass bei einigen der genannten Themen keine wissenschaftlichen Publikationen aber Patente nachgewiesen werden konnten. Sie schlossen daraus, dass es sich hierbei wahrscheinlich um Forschung handelt, die in Unternehmen durchgeführt wird. Die Forschungsergebnisse werden nicht in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht, sondern möglichst früh mit einem Patent geschützt. Sie fanden auch Themen, zu denen weder wissenschaftliche Publikationen noch Patente nachgewiesen werden konnten. Eines davon war „Improved washing performance with polarized water“. Dabei handelt es sich allerdings um ein Thema, das meiner Meinung nach vom naturwissenschaftlichen Standpunkt her problematisch ist, da polarisiertes Wasser nach bisherigen Erkenntnissen keinerlei Nutzen aufweist. Bengisu u. Nekhili bewiesen in ihrer Studie, dass mindestens 25% der untersuchten und von Experten genannten Themen nicht relevant sind, wenn man nur Patent- und wissenschaftliche Publikationszahlen betrachtet. Existieren keine oder wenige wissenschaftliche Publikationen oder Patente zu einem Thema, ist die Frage berechtigt, wieso dieses Thema in der Zukunft wichtig werden sollte. Die Studie ist ein Beleg dafür, weshalb eine Kombination qualitativer und quantitativer Methoden, wie sie in der vorliegenden Arbeit genutzt wurde, sinnvoll ist.

Ebenfalls interessant für die Footprintanalyse ist eine Studie von Belkhodja u. Landry (2007), die sich mit der Frage beschäftigt, weshalb kanadische Wissenschaftler sich entscheiden mit der Industrie zusammenzuarbeiten. Dabei gibt es deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen. So kooperierten Wissenschaftler aus dem Bereich der Geowissenschaften, der Ingenieurwissenschaften oder der Chemie sehr viel häufiger mit der Industrie als Wissenschaftler aus dem Bereich der Physik, Mathematik und Statistik.

Eine weitere Studie, in der bibliometrische Methoden um eine Expertenbefragung ergänzt wurden und welche thematisch der Footprintanalyse ähnelt, stammt von Schlögl u. Stock (2008). Die Autoren konnten auf Seite 661 ihrer Studie anhand von Zeitschriften aus der Bibliotheks- und Informationswissenschaft stichprobenartig zeigen, dass fünf Kriterien für die Einteilung in den akademischen beziehungsweise grundlagenorientierten und den praktischen beziehungsweise angewandten Bereich entscheidend sind:

- „placement of advertisements“
- „size of the editorial board“
- „number of references per article“
- „requirement concerning an extensive bibliography“
- „half-life of the references“¹

Die Begriffe „Akademisch“ und „Praktisch“ wurden in der Studie mithilfe einer Leser- und Redakteursumfrage der untersuchten Zeitschriften definiert.

In einer Studie von van Raan (2004b) wurden Artikel betrachtet, die über einen langen Zeitraum gar nicht, dann aber häufig zitiert wurden. Dieses Phänomen ist bereits seit längerem unter dem Namen „Delayed Recognition“ bekannt (siehe Garfield, 1980 und Glänzel u. Garfield, 2004). Das Paradebeispiel hierfür sind Gregor Johan Mendel (1866) und seine Arbeiten zur Vererbungslehre, welche über 30 Jahre nach ihrer Veröffentlichung als wichtiger Meilenstein zur Genetik wiederentdeckt wurden. „Delayed Recognition“ wird aus diesem Grunde auch „Mendel Syndrom“ genannt (van Raan, 2004b, S. 467). Ein weiteres Beispiel sind die Artikel und Bücher von de Solla Price (siehe Kapitel 2 und Garfield, 2008). Artikel, die dieses Phänomen aufweisen, könnten Hinweise darauf liefern, dass es für eine Entdeckung oder eine Technologie eine Anwendung geben kann, oder dass nach einem gelösten Forschungsproblem weitere Arbeiten möglich sind. Solche Artikel werden in der Studie von van Raan „Sleeping beauties“ genannt, weil einige von ihnen ihrer Zeit voraus waren und eines „Prinzen“ bedurften, der sie „wach küssen“ musste (van Raan, 2004b, S. 467). Ein „Prinz“ ist also ein Artikel, der die „Sleeping Beauty“ zitiert, was dazu führt, dass viele andere Artikel nun auch die „Sleeping Beauty“ zitieren. Findet man ein solches Muster (nach der Publikation lange Zeit keine Zitate, dann auf einmal viele) bei einer Footprintanalyse, kann dies ein Hinweis auf die Frage sein, ob das behandelte

¹Beim Citing Half-Life handelt es sich um einen Indikator, der das Alter der zitierten Literatur angibt.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Thema für eine Forschungsgesellschaft oder ein forschendes Unternehmen von Interesse ist. Auch der „Prinz“ kann in diesem Zusammenhang wertvolle Informationen liefern. In einer anderen Studie wurde untersucht, ob das Vorkommen der „Sleeping Beauties“ möglicherweise nur zufällig ist. Burrell (2005) konnte aber zeigen, dass dies zumindest für die Publikationen, welche lange überhaupt nicht, dann aber sehr häufig zitiert wurden, nicht der Fall ist. Bei diesen Publikationen scheint es sich also tatsächlich um Besonderheiten zu handeln, die durch den Inhalt des Textes und den jeweiligen Kontext erklärt werden können. Aufbauend auf den „Sleeping Beauties“ haben Costas u. a. (2010) alle Dokumente des Web of Science, die zwischen 1980 und 2008 veröffentlicht wurden, nach ihrem Zitationsmuster in drei Klassen eingeteilt. In der Klasse „Flash in the pans“ befinden sich die Paper, welche nach der Veröffentlichung häufig zitiert werden, danach aber gar nicht mehr. Zu den „Delayed“-Publikationen zählen auch „Sleeping beauties“, also Publikationen, die zunächst gar nicht, dann aber stark zitiert werden. Zwischen „Flash in the pans“ und „Delayed“ befinden sich alle anderen Publikationen in der „Normal“-Klasse. Diese weisen ein „normales“ Zitationsmuster auf, werden also später als „Flash in the pans“ zitiert, aber früher als „Delayed“-Publikationen. Nach einem Maximum nimmt die Zahl der Zitationen in dieser Klasse weniger stark ab als in „Flash in the pans“, aber stärker als bei der „Delayed“-Klasse. Nach Costas u. a. befinden sich rund 70% aller von ihnen untersuchten Paper in der „Normal“-Kategorie, ca. 20% gehören zu den „Flash in the pans“ und die übrigen 10% sind „Delayed“-Publikationen.

In den USA gibt es eine Methode, welche versucht, ähnlich der Footprintanalyse, Technologien mittels einer Messlatte einzuordnen. Diese beginnt mit der Beobachtung eines Phänomens und endet mit der Erprobung einer Technologie. Diese sogenannten „Technology Readiness Level“ (TRL) werden bevorzugt von der National Aeronautics and Space Administration (NASA) und dem amerikanischen Verteidigungsministerium genutzt. Aber auch die Europäische Weltraumorganisation (ESA) setzt sie ein. Die Messlatte ist in neun Stufen eingeteilt, die je nach Organisation teilweise anders definiert sind. Bei der NASA tragen sie folgende Namen²:

1. „Basic principles observed and reported.“
2. „Technology concept and/or application formulated.“
3. „Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept.“

²Nachzulesen auf den Seiten der NASA unter: <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/trl/trl.pdf> (abgerufen am 14. Juli 2010).

4. „Component and/or breadboard validation in laboratory environment.“
5. „Component and/or breadboard validation in relevant environment.“
6. „System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space).“
7. „System prototype demonstration in a space environment.“
8. „Actual system completed and 'flight qualified' through test and demonstration (ground or space).“
9. „Actual system 'flight proven' through successful mission operations.“

Die Einordnung einer Technologie in eine der neun Stufen erfolgt zum Beispiel über einen Fragenkatalog³. Für jede Stufe müssen mehrere Fragen beantwortet werden. Im folgenden ein paar Fragen aus dem „TLR Calculator“ der United States Air Force:

- „Physical Laws and assumptions underpinning observations verified?“ (Für TRL 1)
- „Facilities [...] available to support testing in a relevant environment?“ (Für TRL 5)
- „Flight system performance verified as meeting operational requirements?“ (Für TRL 9)

Nach der Beantwortung dieser Fragen errechnet der „TRL Calculator“, auf welcher Stufe sich die jeweilige Technologie befindet. Diese Methode hat durchaus ihren Reiz, verlässt sich aber letztlich auf die Einordnung der Technologie durch Fachleute. Objektive Daten und deren statistische Auswertungen werden hier nicht genutzt. Es existieren allerdings auch Vorschläge, einzelnen Dokumenten und Dokumentenclustern automatisch einen Technology Readiness Level zuzuordnen. Bei Britt u. a. (2008) geschieht dies auf der Basis von Methoden, welche die Häufigkeit, Nähe und Ähnlichkeit bestimmter Wörter zueinander analysieren (sogenanntes „Textmining“).

Eine große Fallstudie, die der Footprintanalyse in Teilen ähnelt, wurde von einem Team um Julius H. Comroe u. Dripps (1976) durchgeführt. Sie wollten die wichtigsten medizinischen Errungenschaften im Bereich der Herzkreislauf- und Lungenmedizin untersuchen und

³Ein solcher Fragenkatalog, welcher von der United States Air Force entwickelt wurde, kann unter <https://acc.dau.mil/> mit dem Suchwort „TLR Calculator“ gefunden werden (abgerufen am 14. Juli 2010). Eine Beschreibung dieses Rechners findet sich bei: <http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/nolte.ppt> (abgerufen am 14. Juli 2010)

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

analysierten, welche Vorarbeiten nötig waren, um diese Errungenschaften zu ermöglichen. Dafür fragten die Autoren in einem ersten Schritt 40 Mediziner nach den ihrer Meinung nach wichtigsten medizinischen Fortschritten für ihre Patienten. Die Liste der Antworten schickten die Verfasser der Studie wiederum an ca. 50 Spezialisten aus verschiedenen Fachgebieten, die ihre Stimmen abgeben sollten, welche dieser Fortschritte sie als die wichtigsten erachteten. Diese Abstimmung führte zu einer Liste der zehn wichtigsten klinischen Fortschritte in den Bereichen Herzkreislauf- und Lungenmedizin sowie -chirurgie. Zu diesen zählte zum Beispiel „Cardiac surgery, drug treatment of hypertension, chemotherapy [etc.]“. Nun wurden 140 Berater befragt, welche so genannte „bodies of knowledge“ nötig sind, um die jeweilige Entwicklung zu ermöglichen. Für die Entwicklung „open-heart surgery“ wurden beispielsweise „Preoperative diagnosis of cardiac defects“ und „Blood Groups and typing“ angegeben. Insgesamt wurden für die zehn medizinischen Entwicklungen 137 bodies of knowledge identifiziert. In einem nächsten Schritt wurden den Autoren nun ca. 4000 Artikel untersucht, die sich mit Entdeckungen, Themen und Technologien beschäftigen, welche zu diesen Fortschritten geführt hatten, oder nötig waren, um diese Fortschritte überhaupt erst zu ermöglichen. Von diesen 4000 wurden ca. 2500 ausgewählt, welche von besonderer Bedeutung für die bodies of knowledge waren. Diese Artikel wurden chronologisch in 137 Tabellen (je eine für jeden body of knowledge) aufgeteilt und den 140 Beratern zugeschickt. Mithilfe der Berater wurden aus den Tabellen 500 Artikel ausgewählt, die dann inhaltlich detaillierter betrachtet wurden (Julius H. Comroe u. Dripps, 1976, S. 106). Ähnlich der Footprintanalyse wurden diese 500 Artikel nun in verschiedene Kategorien eingeteilt, welche in der Tabelle 6 auf Seite 110 dieser Studie zu finden sind:

1. „Basic: not clinically oriented“
2. „Basic: clinically oriented“
3. „Not basic“
4. „Review and synthesis“
5. „Development: research“
6. „Development: clinical“

Eine ähnliche Aufteilung und historische Betrachtung wird teilweise auch in der Footprintanalyse durchgeführt. An dieser Studie waren über 200 Personen beteiligt, was die Möglichkeit eröffnete, hunderte von Artikeln im Detail zur Kenntnis zu nehmen. Außerdem

wurde die Studie größtenteils von Spezialisten des untersuchten Fachgebiets durchgeführt. In diesem Punkt unterscheidet sich die Studie von der Footprintanalyse, in der vorrangig quantitativ gearbeitet wird.

Schultz u. Joutz (2010) analysierten Patente aus dem Bereich der Nanotechnologie, um die unterschiedlich starke Entwicklung verschiedener Unterbereiche dieses Themas (zum Beispiel „Carbon nanotube production“, „Scanning probe for nanopatterning“ und „NanoLithography“) zu identifizieren. In einem zweiten Schritt wurden die Themen, die das größte Potential für eine kommerzielle Anwendung haben, hinsichtlich ihrer Publikations- und Zitationszahlen näher untersucht. Diese Studie beschäftigt sich also mit der Frage, welche Unterbereiche einer Technologie stärker weiterentwickelt werden als andere, eine Frage mit der sich auch ein Teil der Footprintanalyse beschäftigt. Ein ähnliches Vorgehen wird in einem Zeitungsartikel aus dem Jahre 2010 zum Thema neue Klimatechnologien vorgeschlagen: Es soll die Korrelation zwischen angemeldeten Patenten und gefertigten Produkten beobachtet werden, um Innovationszyklen zu beschreiben und zu erkennen. Dies soll Firmen dabei behilflich sein, schneller und effektiver neue Technologien zu entwickeln (Rau u. a., 2010).

Eine der vorliegenden Arbeit sehr ähnliche Studie haben auch Järvenpää u. a. (2011) durchgeführt. Sie betrachteten die Themen „Biodiesel“, „Laser cladding“ und „Blaue LEDs“. Als Indikatoren bedienten sich die Autoren der „Technology Life Cycle Indicators“, welche von Watts u. Porter (1997) eingeführt wurden. Zu diesen Indikatoren gehören zum Beispiel die Anzahl der Artikel zu einem technologischen Thema im Science Citation Index, der ingenieurwissenschaftlichen Datenbank Compendex⁴ oder die Anzahl der Patente in der Datenbank der USPTO. Als Indikator zählen außerdem die Anzahl der Berichte in Tageszeitungen und starke Änderungen der Anzahl dieser Publikationen. Als Datenbank nutzten Järvenpää u. a. die Pressequellen von „LexisNexis: All English Language News“,⁵ in welcher vor allem aktuelle englische Zeitungsberichte nachgewiesen sind. Wie sich wissenschaftliche Informationen auch in populäre Medien hinein verteilen, wo sie dann verfälscht wiedergegeben werden, wird von Bangerter u. Heath (2004) beschrieben und auch „Mozart Effekt“ genannt. Järvenpää u. a. wählten ähnliche Datenbanken wie schon Watts u. Porter aus. Hinsichtlich der Datenbanken stellten sie fest, dass die Ergebnisse aus dem Science Citation Index und Compendex einen großen Überlapp haben. Die Hinzufügung von Zeitungsberichten als Quelle bibliometrischer Analysen ist dagegen eine interessante Ergänzung. Die Autoren gingen von einem sogenannten „linearen Modell der Innovation“

⁴Nähere Informationen unter: <http://www.ei.org/compendex> (abgerufen am 20. November 2010)

⁵Nähere Informationen unter: <http://www.lexisnexis.com/> (abgerufen am 20. November 2010)

aus, welches in dieser Arbeit im Kapitel 4.2.6 näher beschrieben und analysiert wird. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich die drei gewählten Themenbeispiele in den genutzten Datenbanken sehr unterschiedlich verhielten. Die Themen hatten ihren Ursprung größtenteils in der Forschung („Laser cladding“), in der Technologie („Biodiesel“) und in der populären Presse („Blaue LEDs“). Sie stellten fest, dass das lineare Modell bei den Themen, die ihren Ursprung in der Forschung haben, tatsächlich zutrifft, bei den anderen jedoch nicht. Die vorliegende Arbeit kommt zu einem ähnlichen Ergebnis, schlägt aber eine ergänzende Methode zur Analyse von Technologien vor, welche unabhängig ist von einem linearen oder nicht-linearen Innovationsmodell.

Ein weiteres Beispiel einer „Foresight“-Studie bietet das britische Verteidigungsministerium mit seinem „Horizon Scanning“. Dort wird der „Forschungshorizont“ mithilfe von Methoden der Informationswissenschaft (zum Beispiel Datenbankrecherche) und der Psychologie (zum Beispiel Kreativitätsspiele) beobachtet, um Mitarbeiter des Verteidigungsministeriums auf mögliche interessante neue Technologien aufmerksam zu machen (Smith u. Strong, 2008).

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

In diesem Kapitel werden die einzelnen Datensätze, Indikatoren und Trendanalysen beschrieben, welche für die Footprintanalyse erhoben, gemessen und errechnet wurden. Programme und Skripte, welche in diesem Zusammenhang programmiert werden mussten, um eine Analyse überhaupt erst möglich zu machen, werden in den entsprechenden Unterkapiteln beschrieben.

Die Footprintanalyse gehört hinsichtlich des Untersuchungsobjekts zum Bereich der bibliometrischen Analyse. Sie versucht nicht zu klären, wie „gut“ oder „schlecht“ eine wissenschaftliche Entdeckung, eine Technologie oder allgemein ein Thema im Vergleich mit anderen abschneidet, oder wie Wissen von der Grundlagenforschung zur angewandten Forschung fortschreitet. Sie versucht vielmehr innerhalb der untersuchten Datenbasis, im Falle dieser Untersuchung Daten aus elektronischen Zitationsdatenbanken, Hinweise, Regelmäßigkeiten oder Signale zu finden, die typisch sind für die Vermischung und den Übergang von der Grundlagenforschung zur angewandten Forschung und umgekehrt. Der kreative Prozess bei den Wissenschaftlern, samt Wissensakkumulation, -auswertung und -analyse besteht aus mehreren Faktoren, von denen die meisten privat und subjektiv sind und deshalb an dieser Stelle nicht untersucht werden können. Auch ökonomische Faktoren, wie die

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

finanzielle Ausstattung eines Forschers, werden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die Footprintanalyse betrachtet und untersucht die Ergebnisse des Forschungsprozesses, nämlich Patente sowie wissenschaftliche Publikationen und deren Referenzen. Blaise Cronin beschrieb diese Referenzen folgendermaßen (Cronin, 1984, S. 25):

„Metaphorically speaking, citations are frozen footprints on the landscape of scholarly achievement; footprints which bear witness to the passage of ideas. From footprints it is possible to deduce direction; from the configuration and depth of the imprints it should be possible to construct a picture of those who have passed by, whilst the distribution and variety furnish clues as to whether the advance was orderly and purposive. So it is with citations in respect of the growth and development of scientific knowledge; they give substantive expression to the process of innovation, and, if properly marshalled, can provide the researcher with an analytical tool of seductive power and versatility.“

Cronin führt hier den metaphorischen Begriff der „Footprints“, also „Fußspuren“, für Beziehungen zwischen Artikeln an, die über Zitationen miteinander verbunden sind. Er erwähnt auch, dass wegen der „absence of a satisfactory theory of citing“ Autoren gerne Metaphern verwenden, um den Prozess zu umschreiben. Darauf basierend beruht die Footprintanalyse also auf der Annahme, dass man mithilfe der Analyse von „Fußabdrücken/Fußspuren“ (also Publikationen und ihren Zitationen) eine Aussage darüber treffen kann, in welche Richtung sich ein Thema entwickelt. Als weitere Metaphern für Zitationen und den Prozess des Zitierens nennt Cronin von anderen Autoren „Belohnung oder Einkommen“, „Instrument der Überzeugung“ oder „Markierungen oder Symbole“ (Cronin, 1984, S.29). Weitere Metaphern sind „Währung“ und „positives“ beziehungsweise „negatives Ansehen“ (Bornmann u. Daniel, 2008, S. 59).

4.2.1 Genesisartikel

Bibliometrische Studien untersuchen häufig Datensätze, die das Ergebnis einer Suchanfrage in einer Zitationsdatenbank sind. Der Aufbau einer solchen Suchanfrage hängt dabei von dem Objekt ab, welches analysiert werden soll. Werden Institutionen, wie zum Beispiel die Heinrich-Heine-Universität oder die Fraunhofer-Gesellschaft, untersucht, müssen die verschiedenen Schreibweisen der jeweiligen Institution in die Suchanfrage aufgenommen werden, um einen möglichst vollständigen Datensatz aller Publikationen der Institution

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

zu erhalten. Wenn wir beim Beispiel der Heinrich-Heine-Universität bleiben, können solche Schreibweisen „Universitaets Klinikum Duesseldorf“, „Universitaet Duesseldorf“ oder „University Dusseldorf“ lauten. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass deutsche Umlaute in Datenbanken, welche in den USA beheimatet sind, problematisch sind. Die Umlaute werden in der Regel aufgelöst, wobei oft das „e“ weggelassen wird. In einem nächsten Schritt müssen Rechtschreibfehler, die regelmäßig beim Indexieren auftauchen, und historische Namen, welche nicht mehr aktuell sind, beachtet werden. Außerdem müssen Institute und Abteilungen ermittelt werden, die den Namen der Institution nicht im Namen tragen, aber eindeutig dazu gehören. Ein Beispiel ist das „Center for Microelectronic Technology & Single Crystals“, welches zum „Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy“ gehört. Dieses wiederum ist Teil der Universität Belgrad, trägt diese Institution aber nicht in seinem Namen. Es kann bei Datensätzen für Institutionen auch zu Problemen kommen, die sich nicht über neue oder bessere Suchbegriffe lösen lassen. Ein schönes Beispiel, welches von Debackere u. Glänzel (2004, S. 269) angeführt wird, ist die Freie Universität Brüssel. Es existieren nämlich zwei Universitäten mit diesem Namen: die eine ist die flämische „Vrije Universiteit Brussel“, die andere die wallonische „Université Libre de Bruxelles“. Da sich beide Universitäten einen Campus teilen, lässt sich die Unterscheidung auch nicht über eine zusätzliche Eingabe der Adresse treffen. In einem solchen Fall muss zu einer guten Suchanfrage zusätzlich noch eine manuelle Korrektur vorgenommen werden. Im Fall der Universitäten in Brüssel kann dies über die Autoren der Publikationen und deren Institutionszugehörigkeit gemacht werden.

Handelt es sich bei dem Untersuchungsobjekt um eine Technologie oder eine wissenschaftliche Entdeckung wie in dieser Arbeit, dann gibt es weitere Anforderungen, die eine entsprechende Suchanfrage erfüllen muss. Hier müssen zusätzlich Schlagwörter identifiziert werden, die möglichst eindeutig der jeweiligen Technologie zugeordnet werden können. Dabei hat man stets das Problem, dass zu spezielle Schlagwörter die Suchanfrage zu eng werden lassen, allgemeinere Schlagwörter aber möglicherweise Publikationen finden, welche mit dem eigentlich untersuchten Thema nur noch wenig zu tun haben. Wählt man nur wenige charakteristische Schlagwörter aus, besteht außerdem die Gefahr, dass man einen großen Teil der gesuchten und relevanten Literatur nicht findet.

Die beschriebenen Probleme stellen nur eine Auswahl dar, und die Liste ließe sich noch erweitern. Institutionen und Technologien stellen Untersuchungsobjekte der sogenannten „Mesoebene“ dar. Ähnliche Hindernisse ergeben sich aber auch, wenn es sich um Untersuchungsobjekte auf der „Makro-“ (zum Beispiel Länder) oder der „Mikroebene“ (zum Beispiel

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

einzelne Autoren) handelt. Auf der Makroebene sind die Namen von Ländern, die nicht mehr existieren, problematisch wie zum Beispiel die DDR, Jugoslawien, die UdSSR usw. Bei den Autoren stellen häufige Namen wie „Schmidt“, „Schulze“ oder „Müller“ wiederum ein Problem dar. Dabei kann es sich um viele verschiedene Autoren handeln, die aber alle den gleichen Namen tragen (Homonymproblem). Die Schwierigkeiten mit chinesischen, slawischen und spanischen Autorennamen, welche regelmäßig von den Indexierern des Web of Science falsch erfasst werden, seien nur am Rande erwähnt.

Die Erstellung einer guten Suchanfrage samt der darauf folgenden Bereinigung der Daten verschlingt also enorm viel Zeit. Meistens sogar den größten Anteil der Zeit, die für bibliometrische Untersuchungen zur Verfügung steht (siehe eine Diskussion zu dem Thema, die in der Zeitschrift „Scientometrics“ geführt wurde, und die an dieser Stelle stellvertretend genannt wird: van Raan 2005b, Liu u. a. 2005 und van Raan 2005a).

Die Footprintanalyse geht dagegen zunächst nur von einer einzigen Publikation aus, welche den Grundstein für eine spätere Technologie legt oder eine wissenschaftliche Entdeckung beschreibt. Diese Publikation wird in dieser Arbeit „Genesisartikel“ genannt und wird hier folgendermaßen definiert:

Um einen Genesisartikel handelt es sich, wenn er eine große Entdeckung oder Entwicklung beschreibt, die bis zu seiner Veröffentlichung nicht bekannt war, und wenn er als verbreitete intellektuelle Grundlage für weitere wissenschaftliche oder produktrelevante Arbeiten dient und/oder für das Aufkommen einer neuen wissenschaftlichen Disziplin verantwortlich ist.

Als Grundlage dieser Definition dient die Definition von Bush (1960, S. 56) für „Entdeckungen“. Genesisartikel werden meist qualitativ, also nach Absprache mit Experten der jeweiligen Disziplinen, bestimmt. Die Frage, ob ein Artikel ein Genesisartikel ist oder nicht, ist also subjektiv. Auch kann es in der Forschung passieren, dass gleiche Entdeckungen, unabhängig voneinander, von verschiedenen Forschungsteams gemacht werden (Siehe zum Beispiel Kapitel 5.2.3 und Bush, 1960, S. 60. Bush bezieht sich hier auf die Forschung in der Medizin.). Footprintanalysen können genutzt werden, wenn ein Experte einer wissenschaftlichen Disziplin der Meinung ist, einen Artikel gefunden zu haben, der in seinen Augen den Anfang einer neuen Technologie markiert oder eine wichtige Entdeckung beschreibt. Dann kann die Footprintanalyse auf diesen Artikel angewandt werden, um Hinweise zu finden, die darauf hindeuten, dass das Thema des Artikels tatsächlich zu späteren Anwendungen führt oder nicht. Ein Genesisartikel muss aber nicht immer eine neue Entdeckung beschreiben. In

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Ausnahmefällen reicht es auch, wenn nur die zweite Bedingung der Definition („verbreitete intellektuelle Grundlage für weitere wissenschaftliche oder produktrelevante Arbeiten“) erfüllt ist. Es existieren Artikel, die ein wissenschaftliches Thema erstmalig bearbeiten, jedoch kaum wahrgenommen wurden (siehe zum Beispiel Kapitel 5.1.2). Andere Artikel beschäftigen sich später ebenfalls mit diesem Thema, werden aber wahrgenommen. Um eine Footprintanalyse zu ermöglichen, müssen dann letztere genutzt werden.

Es existieren Datenbanken, welche die Suche nach einem Genesisartikel auch ohne entsprechenden Experten ermöglichen. Die Datenbank „Citation Classics“, die von Eugene Garfield angelegt wurde, beinhaltet 4000 Kommentare zu sogenannten „Citation Classics“ (diese Datenbank wurde bereits in Kapitel 3.3.1 erwähnt). Dies sind Artikel, die über 400-mal zitiert wurden. In manchen Disziplinen, in denen nicht so häufig zitiert wird, kann schon eine Zahl von 100 Zitationen ausreichen, um zu einem „Citation Classic“ zu werden. Die Kommentare stammen von den Autoren der „Citation Classics“ selber. Sie beschreiben die „menschliche Seite der Forschung“, sowie die Probleme bei den Untersuchungen und erläutern warum der Artikel ihrer Meinung nach so häufig zitiert wurde. Eine Suche in dieser Datenbank kann Genesisartikel auffinden, da diese per definitionem eine hohe Anzahl an Zitationen haben müssen. Allerdings ist nicht jeder „Citation Classic“ ein Genesisartikel. Manche Artikel beschreiben zwar neue Entdeckungen, es sind jedoch keine, die zu völlig neuen Technologien, sondern beispielsweise nur zu einer Optimierung von Herstellungsprozessen führen. Hier ist man letztlich auf die Expertise von Fachleuten angewiesen, es ist aber möglich, eine Vorauswahl von möglichen Kandidaten für Genesisartikel zu treffen.

Eine andere Datenbank, die für eine solche Vorauswahl in Betracht kommt, befindet sich auf der Webseite der Nobel-Stiftung, welche alle bisherigen Nobelpreisträger auflistet.⁶ Meistens haben Nobelpreisträger die Entdeckungen, welche ihnen die Auszeichnungen eingebracht haben, in wissenschaftlichen Journalen veröffentlicht. Außerdem werden in den Beschreibungen der Nobelpreisträger die Gründe für die Verleihung angegeben. Mit diesen Informationen lassen sich die relevanten Artikel der Nobelpreisträger finden und auf die Frage hin untersuchen, ob es sich um Genesisartikel handeln könnte. Hierbei muss allerdings darauf geachtet werden, dass manche Artikel von Nobelpreisträgern erst dann häufig zitiert wurden, nachdem sie den Preis gewonnen haben. Die Verleihung einer solchen Auszeichnung führt verständlicherweise zu einer höheren Wahrnehmung bei anderen Wissenschaftlern. Ein Beispiel für einen Genesisartikel, der über diese Datenbank gefunden werden konnte, ist ein Artikel, der die Entdeckung der sogenannten „Fullerene“ beschreibt

⁶Siehe: http://nobelprize.org/nobel_prizes/lists/all/ (abgerufen am: 19. 11. 2009)

(Kroto u. a., 1985) (siehe Kapitel 5.2.3).

Ein Vorteil der Footprintanalyse ist, dass sie sich zum größten Teil auf Zitationen als Indikator für die Nutzung von wissenschaftlichen Artikeln verlässt. Alle Publikationen, welche den Genesisartikel zitieren, stellen den sogenannten „Zitationsdatensatz“ dar. Dieser ist, im Vergleich zu dem Datensatz, der mithilfe einer Suchanfrage erstellt wird, innerhalb der Datenbank vollständig (abgesehen von den Ausnahmen einer falschen Indexierung). Bereits 1955 machte Garfield darauf aufmerksam, dass eine Suche, welche auf den Inhalt bezogen ist, die Tatsache berücksichtigen muss, dass sich die Terminologie einer Technologie über die Jahre hinweg wandeln kann. Betrachtet man jedoch Zitationen genauer, so hat der Autor, der ein Zitat auf eine andere Arbeit setzt, die ursprüngliche Version bereits „für uns interpretiert“ und deshalb für eine Zitation ausgewählt (Garfield, 1955, S. 1125). Ein weiterer Vorteil von Zitationen liegt darin, dass die Autoren eines Artikels zwar ihre eigenen Referenzen kennen, aber nicht wissen können, wer ihr Wissen künftig nutzen und zitieren wird (Sherwin u. Isenson, 1967, S. 1572). Dies bedeutet, dass mithilfe von Zitationen die Migration von Wissen in andere Forschungsfelder beobachtet werden kann. Kommt es zu einer Veränderung der Terminologie einer Entdeckung oder Technologie, kann diese über eine Suchanfrage nicht unbedingt entdeckt werden. Zitiert der Benutzer einer neuen Terminologie jedoch den Genesisartikel, hat man damit eine klare Verbindung der neuen Terminologie zur ursprünglichen Entdeckung.

Shibata u. a. (2009) untersuchten die Publikationen zu drei Forschungsthemen („gallium nitride“, „Complex network“ und „carbon nanotube“) mit je drei Arten von Zitationsnetzwerken und verglichen sie miteinander. Die Kanten der Netzwerke bestanden dabei entweder aus Direktzitationen, Kozitationen (Small, 1973) oder aus bibliographischem Coupling (Kessler, 1963).⁷ Das Ziel der Studie war, zu bestimmen, welches der Zitationsnetzwerke sich am besten zur Abbildung sogenannter Forschungsfronten eignet. Unter „Forschungsfronten“ verstehen die Autoren neu aufkommende Forschungsfelder. Zitationsnetzwerke, die auf Direktzitationen basierten, erzielten hier das beste Ergebnis. Der Zitationsdatensatz der Footprintanalyse bildet ebenfalls ein Zitationsnetzwerk, das aus Direktzitationen zum Genesisartikel besteht. Boyack u. Klavans (2010) kommen in ihrer Arbeit allerdings zu dem Ergebnis, dass sich eine hybride Methode der Zitations- und Textanalyse am besten eignet, um Forschungsfronten darzustellen.

Die Methode, einen Artikel samt seines Zitationsdatensatzes zu untersuchen, wird auch

⁷Kozitationen und bibliographisches Coupling bezeichnen zwei Arten von Zitationsanalysen. Da sie im übrigen Teil der vorliegenden Arbeit keine Rolle spielen, wurde auf nähere Beschreibungen verzichtet. Näheres kann in der zitierten Literatur nachgelesen werden.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

von Cole u. Cole (1972) genutzt, in der die sogenannte „Ortega Hypothese“ in Zweifel gezogen wird. Diese Hypothese geht davon aus, dass wissenschaftlicher Fortschritt zum größten Teil das Ergebnis vieler „kleiner Entdeckungen“ durchschnittlicher Wissenschaftler ist. Diese hätten den Weg geebnet für die „großen Entdeckungen“ der wichtigen Forscher. Folgt man dieser Hypothese, wäre das Zusammenstellen eines Datensatzes einer Technologie oder einer wissenschaftlichen Entdeckung mithilfe einer Suchanfrage wahrscheinlich die klügere Wahl. Mit einer solchen Suchanfrage könnte man theoretisch alle Autoren finden, die sich mit einem bestimmten Thema auseinandergesetzt haben, auch wenn sie sich gegenseitig nicht zitiert haben. In ihrer Studie haben Cole u. Cole aber Hinweise gefunden, welche sie zu der Annahme veranlasst haben, dass die Ortega Hypothese nicht korrekt ist. Zunächst weisen sie darauf hin, dass nach de Solla Price 10 Prozent aller wissenschaftlichen Autoren weltweit rund 50 Prozent aller wissenschaftlichen Publikationen produzieren. Sie stellen dann die Frage, ob die übrigen 50 Prozent, welche von 90 Prozent der anderen Wissenschaftler produziert werden, von den wichtigen Forschern tatsächlich genutzt werden, um ihre jeweilige Disziplin voranzutreiben. Als Indikator für die Nutzung von Publikationen nehmen sie Zitationszahlen. Dies begründen sie mit dem Satz: „[...] a reasonable case can be made that citations generally represent an authentic indicator of influence“ (Cole u. Cole, 1972, S. 369). Ob ein Autor oder seine Publikation zum Durchschnitt oder zur exzellenten Elite gehört, wird also über die Anzahl der Publikationen und der erhaltenen Zitationen bestimmt. Andere Beiträge zur Wissenschaft, wie Lehrtätigkeit oder administrative Aufgaben, werden nicht untersucht. Die Studie beschränkt sich auf eine Stichprobe aus der Disziplin der Physik. Die Autoren beobachten, dass die Paper, die am häufigsten zitiert werden, wiederum zum größten Teil Paper zitieren, die von Autoren geschrieben wurden, die hohe Zitationszahlen aufweisen. Die 50 Prozent der Publikationen, welche von 90 Prozent aller Wissenschaftler geschrieben wurden, tragen also, so die Autoren, nicht dazu bei, den Wissensstand der Forschungselite im untersuchten Fach der Physik zu bereichern. Sie erkennen dies daran, dass der Großteil der Publikationen gar nicht oder höchstens einmal zitiert wird, und dass die Mehrheit dieser Publikationen von Autoren geschrieben wurde, die keine hohen Zitationszahlen aufweisen. Außerdem stellen sie fest, dass sich auch die Gruppe der durchschnittlichen Arbeiten zum größten Teil auf die Arbeiten der exzellenten Forscher bezieht und nicht auf die Arbeiten durchschnittlicher Autoren.

Die bibliometrische Analyse von Cole u. Cole wird von einer qualitativen Untersuchung unterstützt: Ein Experte im Bereich der Teilchenphysik wurde von den Autoren gefragt, welche fünf Paper seiner Meinung nach in den vergangenen zehn Jahren den höchsten

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Einfluss auf diese Disziplin hatten (Cole u. Cole, 1972, S. 371). Alle fünf der von diesem Experten ausgewählten Paper wiesen eine hohe Zitationszahl (durchschnittlich 67 Zitationen) auf und wurden von exzellenten Forschern geschrieben. Es wurden außerdem die 51 Artikel untersucht, die von diesen fünf Papern zitiert wurden. Auch hier konnte festgestellt werden, dass die große Mehrheit der Autoren der 51 Artikel von Eliteinstitutionen stammten und selber hohe Zitationszahlen aufwiesen. Zusammenfassend lässt sich, nach Meinung der Autoren dieser Studie, sagen, dass nicht eine hohe Anzahl von durchschnittlichen Wissenschaftlern gebraucht wird, um den Fortschritt voranzutreiben, sondern eine kleine Anzahl von exzellenten Forschern. Die Autoren gehen noch einen Schritt weiter und schlagen vor, die Anzahl der ausgebildeten Wissenschaftler zu verringern, damit für die exzellenten Forscher mehr Kapazitäten zur Verfügung stehen. Die Studie ist nur ein Fallbeispiel, da man sich auf ein Fach beschränkt und nur einen Experten befragt hat. Die Ergebnisse sind aber relativ eindeutig. Auf die mögliche Kritik, dass in der Studie nur Publikationen und Zitationen als Beitrag zur Wissenschaft verstanden werden, die Lehrtätigkeit aber zum Beispiel nicht, gehen die Autoren ebenfalls kurz ein. Sie zitieren Studien, die belegen, dass Nobelpreisträger und Mitglieder der „National Academy“ von anderen Mitgliedern der Elite unterrichtet wurden und nur selten von durchschnittlichen Wissenschaftlern.

In seiner eigenen Studie zur „Ortega Hypothese“ kann Száva-Kováts (2004) jedoch überzeugend nachweisen, dass Cole u. Cole (1972) einige Fehler bei der Analyse des Originaltextes von (Ortega, 1932) unterlaufen sind. Der Autor spricht sogar von bewusster Fälschung einer These, die im Originaltext nicht nachgewiesen werden kann. Száva-Kováts argumentiert, dass die von Cole u. Cole beschriebene These in Wahrheit eine „Anti-Ortega“-These ist, da Ortega ein klarer Befürworter einer wissenschaftlichen Elite war. Er erkennt außerdem richtig, dass trotz einer ähnlichen Publikation von ihm, welche bereits 1982 veröffentlicht wurde, und in welcher er schon auf die Fehler in der Studie von Cole u. Cole hingewiesen hatte, weiterhin Wissenschaftler den Artikel von Cole u. Cole zitieren und fehlerhafte Daten ungeprüft übernehmen (was seiner Meinung nach in der Wissenschaft sehr häufig passiert). Dies ist auch heute noch der Fall: Die Studie von Cole u. Cole wurde bisher (Stand: 05. September 2010) 186-mal, die Studie von Száva-Kováts nur dreimal zitiert. Ein Blick in einige der aktuellen Artikel und Konferenzbeiträge, welche Cole u. Cole zitieren, offenbart, dass deren Ergebnisse übernommen und verallgemeinert werden, ohne dass die in meinen Augen berechtigte Kritik von Száva-Kováts zumindest erwähnt wird (siehe zum Beispiel Azoulay u. a., 2010 und Bornmann u. a., 2010). In einem weiteren Schritt kritisiert

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Száva-Kováts die von Cole u. Cole durchgeführte Zitationsanalyse mit dem Hinweis, dass es viele Zitationen in einem wissenschaftlichen Artikel geben kann, die nicht explizit als solche ausgewiesen sind (sogenannte Sekundär- und Tertiärzitationen). Solche Zitationen kommen zum Beispiel vor, wenn ein Review mit dem Hinweis „and the references cited therein“ zitiert wird. Im Zitationsindex taucht dann nur eine Zitation auf das Review, aber nicht auf die Sekundärzitationen im Review, auf. Száva-Kováts hat mit seiner Kritik in seiner Studie sicherlich Recht. Da allerdings zum momentanen Zeitpunkt keine Datenbanken existieren, welche Sekundär- und Tertiärzitationen automatisch indexieren, musste für diese Dissertation pragmatisch vorgegangen werden. Es wurden nur Primärzitationen berücksichtigt. Cole u. Cole haben außerdem in ihrer Analyse Publikationen aus der Physik im Allgemeinen untersucht, obwohl Ortega ursprünglich von „experimental science“ sprach (Ortega, 1932, S. 59). In meinen Augen verfälscht Száva-Kováts Kritik an diesem Punkt die Ergebnisse von Cole u. Cole nicht. Die Kritik weist darauf hin, dass Cole u. Cole den Autoren Ortega falsch zitiert und eine Hypothese unter seinem Namen konstruiert haben. Weiterhin wird richtig kritisiert, dass die Zitationsanalyse in diesem Zusammenhang Mängel aufweist, da ein Feld untersucht wird, welches breiter ist als das von Ortega beschriebene. Außerdem existieren Zitationen, die nicht in einem Index aufgenommen sind. Die Tatsache, dass Cole u. Cole eine „Ortega Hypothese“ erfunden haben, ändert aber nichts an den kontroversen Ergebnissen ihrer Zitationsanalyse.

Auf den Genesisartikel übertragen bedeuten die Erkenntnisse der Studie von Cole u. Cole, dass der Zitationsdatensatz gar nicht alle Publikationen beinhalten muss, die sich mit der entsprechenden Technologie oder Entdeckung auseinandersetzen. Es reichen diejenigen Publikationen, die relevant sind, da die Studie der beiden Autoren vermuten lässt, dass die exzellenten Wissenschaftler, welche an der Forschungsfront forschen, auch den Genesisartikel, der von einem „Eliteforscher“ geschrieben wurde, zitieren.

Ein Teil der Footprintanalyse beinhaltet eine Keywordanalyse, welche die einzigartigen Keywords der jeweiligen Technologie oder Entdeckung bestimmt. Diese wurde durchgeführt, da in der für diese Arbeit genutzten Patentdatenbank keine Suche in dem Feld, in welchem die Zitationen der Patente verzeichnet sind, möglich ist. Wäre dies der Fall, bestünde die Möglichkeit, nach allen Patenten zu suchen, die den jeweiligen Genesisartikel zitiert haben. Allerdings würde auch dann eine Suchanfrage erstellt werden müssen, die ein vollständiges Bild aller Patente zum jeweiligen Thema, und damit dessen zeitlicher Entwicklung, liefert. Diese Suchanfrage wird in einem nächsten Schritt auch für eine Suche im Web of Science benutzt. Der daraus entstandene Datensatz (Suchanfragedatensatz) wird

ebenfalls für die Footprintanalyse genutzt. Bei einigen Footprintanalysen kann außerdem analysiert werden, welche Publikationen sich nur im Zitations- nicht aber im Suchanfragedatensatz befinden, um eine mögliche Wanderung des Themas festzustellen.

Das Konzept eines „Genesisartikels“ kommt auch bei der bereits weiter oben erwähnten Studie von Choi u. Park (2009) vor. Dort wird für eine Analyse von Entwicklungspfaden ein „origin patent“ als Anfang vorausgesetzt (siehe Kapitel 4.1). Bei Choi u. Park sind „origin patents“ klar definiert als diejenigen Patente, die innerhalb des untersuchten Datensatzes zitiert werden, selbst aber keine Patente zitiert haben. Damit hängt die Zahl der „origin patents“ innerhalb eines Datensatzes stark von der gewählten Suchanfrage ab. „Origin patents“ zitieren durchaus andere Patente, jedoch stammen diese möglicherweise aus anderen Themenfeldern. Die gleiche Definition hätte prinzipiell auch auf Genesisartikel übertragen werden können, allerdings ist sie meiner Meinung nach nicht sinnvoll. Ein wissenschaftlicher Artikel bezieht sich, ähnlich wie Patentschriften, auf seine geistigen Vorgänger. Innerhalb eines Themas Artikel zu finden, die häufig zitiert werden, selber aber keinen einzigen Artikel des Themas zitieren, ist nur in seltenen Fällen möglich. Im Zitationsdatensatz ist der Genesisartikel per definitionem der einzige, der von allen zitiert wird. Im Suchanfragedatensatz kann es dagegen vorkommen, dass sich auch der Genesisartikel auf andere Artikel des Themas bezieht, nämlich dann, wenn es geistige Vorgänger gibt, die das Thema aber nicht wesentlich beeinflusst haben.

Für eine Footprintanalyse sind also folgende drei Datensätze relevant:

1. Zitationsdatensatz (basierend auf den Publikationen, die den Genesisartikel zitieren)
2. Patentdatensatz (basierend auf einer Suchanfrage, die sich aus einer Keywordanalyse des Zitationsdatensatzes ergibt)
3. Suchanfragedatensatz (basierend auf der gleichen Suchanfrage wie beim Patentdatensatz).

Diese drei Datensätze werden einer Reihe von Analysen unterzogen, welche in den folgenden Kapiteln beschrieben werden. Ziel dieser Analysen ist die Erstellung eines Profils für die jeweilige Technologie oder Entdeckung. Es ist allerdings auch möglich, eine Footprintanalyse ohne einen Genesisartikel und damit ohne Zitationsdatensatz durchzuführen. Die Erstellung der Suchanfrage für einen Suchanfragen- und Patentdatensatz muss dann allerdings nach Möglichkeit mithilfe eines Experten erstellt werden, der die relevanten Schlagwörter des untersuchten Themas hinreichend gut kennt. Zusätzlich muss bei der Analyse

darauf hingewiesen werden, dass dieser Datensatz nicht untersucht wurde. Die einzelnen Indikatoren sind so gewählt, dass ihr Wert beziehungsweise ihr zeitlicher Verlauf eine Aussage darüber zulässt, ob ein Hinweis auf eine Anwendungs- oder Grundlagenorientierung vorliegt. Für die Berechnung der Indikatoren wurden zum größten Teil quantitative Methoden genutzt. Diese wurden durch eine qualitative Methode in Form einer Befragung von Experten ergänzt (siehe Kapitel 4.2.6). Jedes Profil beinhaltet also mehrere Indikatoren, die Fachwissenschaftlern oder politischen Entscheidungsträgern ein differenziertes Bild der untersuchten Technologie oder Entdeckung liefern. Die verschiedenen Kennzahlen werden bewusst nicht zu einer Zahl zusammengefasst, da dies meiner Meinung nach eine zu starke und unzulässige Vereinfachung der komplexen Zusammenhänge der Datensätze darstellen würde.

4.2.2 Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes

Publikationen werden in der Literatur auch als „proxy measures“ bezeichnet, weil man mit ihnen nicht direkt die Forschungsaktivität misst, sondern nur deren Output. Damit sind Publikationen im Web of Science (wie auch Patente im Derwent Innovations Index) nur indirekte Messgrößen. Sie bilden jedoch die Basis der Bibliometrie. Bei einem pragmatischen Vorgehen können mithilfe von Fallstudien auch andere Aspekte der Forschung und Technologie untersucht werden. Alternativ werden, wie in dieser und den meisten anderen bibliometrischen Arbeiten, „proxy measures“ akzeptiert und weiter analysiert (Verbeek u. a., 2002, S. 403).

Innerhalb des Zitationsdatensatzes wurde der Verlauf der Publikationsanzahl über die Jahre betrachtet. Eine zunehmende Anzahl der Publikationen, die auf den Genesisartikel verweisen, wurde dabei als Anzeichen für eine wachsende Aktivität innerhalb der Gemeinschaft betrachtet, welche die Erkenntnisse des Genesisartikels als Grundlage für ihre eigene Arbeit nutzt. Im Gegenzug wurde eine abnehmende Publikationsanzahl als Anzeichen dafür gewertet, dass das Interesse an dem jeweiligen Thema abnimmt. Bei einigen Themen wurde ein sogenannter „gleitender Mittelwert“ von drei Jahren für die Wachstumskurven berechnet. Dies bedeutet, dass für ein gegebenes Jahr n die Werte der Jahre n , $n-1$ und $n+1$ addiert und durch drei geteilt wurden. Die dabei entstehende Kurve ist glatter und kann langfristige Trends besser zeigen. Diese Berechnung wurde aber nicht in allen Themen vorgenommen, sondern nur dort, wo eine solche Verdeutlichung sinnvoll war.

4.2.3 Bibliometrische Patentanalyse und Analyse der Zitationen auf Nicht-Patent-Literatur

Für die Suchanfragen im Derwent Innovations Index werden die Schlagwörter der Publikationen des Zitationsdatensatzes der jeweiligen Technologie oder Entdeckung genutzt und einer Analyse unterzogen. Diese stellen die zentralen Begriffe einer Publikation dar, welche es dem Leser ermöglichen sollen, das ungefähre Thema des Textes schnell zu überblicken, beziehungsweise in einer Datenbank Publikationen mit ähnlichen Schlagwörtern schnell aufzufinden. Mit „Schlagwörtern“ sind in dieser Arbeit die von den Autoren vergebenen Schlagwörter gemeint. Im Gegensatz dazu werden die sogenannten „Keywords Plus“ von den Betreibern des Web of Science automatisch erstellt und basieren auf den Referenzen eines Artikels. Die Nutzung der „Keywords Plus“ hat sich in der Praxis als problematisch erwiesen, da die automatische Erstellung häufig zu Keywords führt, welche nur am Rande mit den jeweils untersuchten Themen zusammenhängen. Da die in dieser Arbeit genutzten Schlagwörter von den Autoren ausgesucht wurden, existiert die Gefahr, dass viele ähnliche Schlagwörter genutzt werden, um das gleiche zu beschreiben. Bei zwei Artikeln über Metamaterialien könnte der eine Autor das Schlagwort „Metamaterialien“ setzen, der andere „Metamaterial“. Um solche doppelten Nennungen zu vermeiden, wurden die Schlagwörter einem „Stemming“ unterzogen, das verwandte Wortformen zusammengefügt und auf ihren Stamm reduziert. Singular und Pluralformen werden so zusammengefasst. Eine Zusammenfassung von Synonymen wurde nicht vorgenommen, da dies eine fachliche Bewertung der jeweiligen Technologie erfordert hätte. Für ein Stemming eignet sich der Porter-Stemmer-Algorithmus⁸ (siehe Porter, 1980 und Magerman u. a., 2010), da dieser zwar keine linguistisch korrekt abgeleiteten Wortstämme liefert, dafür aber zuverlässig verwandte Worte auf eine Zeichenkette reduziert. Vor dem Stemming wurden die Stoppwörter entfernt. Diese tauchen bei Schlagwörtern wissenschaftlicher Publikationen jedoch selten auf⁹.

Die Formulierung der Suchanfrage dient der Patentanalyse. Mit ihr sollen möglichst alle Patente gefunden werden, die dem jeweils untersuchten Thema entstammen. Bei der Erstellung dieser Suchanfrage bilden die Keywords der Autoren die Grundlage, sie können bei der schrittweisen Entwicklung der Suchanfrage aber auch erweitert werden. Bei der

⁸Für die Analyse wurde ein von Marcus John am Fraunhofer INT programmiertes Perl-Skript, welches das Perl-Modul `Lingua:Stem` beinhaltet, genutzt. Herunterladbar unter: <http://search.cpan.org/~snowhare/Lingua-Stem-0.84/lib/Lingua/Stem.pod> (abgerufen am 26. November 2010).

⁹Hierfür wurde im Skript das Perl-Modul `Lingua::StopWords` genutzt. Das Modul ist herunterladbar unter: <http://search.cpan.org/~creamyg/Lingua-StopWords-0.09/lib/Lingua/StopWords.pm> (abgerufen am 26. November 2010).

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Formulierung der Suchanfragen für die verschiedenen Themen, die in dieser Arbeit analysiert wurden, war stets ein Experte aus einer relevanten Fachdisziplin zugegen. Dies half, die Präzision der Suchanfragen zu erhöhen. Es ist bei der Formulierung der Suchanfragen darauf zu achten, dass bei der Keywordanalyse des Zitationsdatensatzes auch Keywords aus Technologiefeldern auftauchen können, die mit dem ursprünglichen Feld nichts gemein haben. Ist dies der Fall, dann sind die Erkenntnisse im Genesisartikel im Laufe der Jahre von Forschern verschiedener Disziplinen wahrscheinlich aufgegriffen und weiterentwickelt worden. Es ist auch möglich, dass das im Genesisartikel dokumentierte Wissen, im Laufe der Zeit als Grundlage für ein neues Thema gedient hat. Dies war zum Beispiel bei dem Thema „Fullerene“ der Fall. Die Erkenntnisse im Genesisartikel dieses Themas werden auch intensiv in den Bereichen „Nanoröhren“ und „Graphene“ genutzt (siehe Kapitel 5.2.3). In solchen Fällen können weitere technologische Felder in die Suchanfrage integriert werden, da es wahrscheinlich ist, dass in diesen neuen Feldern an aktuellen Anwendungen gearbeitet wird.

Patente sind zwar nur eine indirekte Messgröße (sog. proxy measure, siehe Kapitel 4.2.2) stellen aber die besten Daten dar, die in einer bibliometrischen Analyse genutzt werden können. Vannevar Bush bezeichnet in seinem einflussreichen Bericht (auf den Bericht wird in Kapitel 4.2 näher eingegangen) Patente als „Life of Research“ und schreibt ihnen damit einen hohen Stellenwert in der Forschung zu (Bush, 1960, S. 109). Interessant ist auch die Ansicht von Bush, dass Patente an Universitäten keinen hohen Stellenwert haben sollten, damit sie nicht die Arbeit der Grundlagenforschung behindern (Bush, 1960, S. 117). Diese Einstellung ist innerhalb des Gesamtkonzepts von Bushs Bericht verständlich. Seine Empfehlung hat sich jedoch, wie spätere Studien gezeigt haben, nicht durchgesetzt, da inzwischen auch Universitäten danach trachten, eine rege Patentaktivität zu entwickeln. In einigen Technologiefeldern nehmen diese sogar eine Führungsrolle ein (Schmoch, 2004). Dass Universitäten viele Patente anmelden, ist in einigen Staaten eine relativ moderne Erscheinung, zum Beispiel in Deutschland oder Dänemark (Baldini, 2006a). Einen Überblick über die Literatur zu dem Thema bietet Baldini (2006b) in seinem Review. Der Wert, den Patente für Universitäten haben, wurde von Meyer u. Tang (2007) untersucht. Jedoch zeigt eine aktuelle Studie von Leydesdorff u. Meyer (2010), dass die Anzahl der Universitätspatente in den USA und teilweise in Europa seit der Jahrtausendwende stagniert oder sogar wieder abnimmt.

Bei der Darstellung der vorhandenen Patente pro Jahr kann man sich entweder auf das Datum, an dem ein Patent erteilt, oder auf das Datum, an dem die Anmeldung vorgenom-

men wurde, beziehen. Für die Graphiken in dieser Arbeit wurde als relevantes Datum das Jahr der ersten Anmeldung eines Patenten innerhalb der jeweiligen Patentfamilie genommen. Außerdem wurden Patentfamilien als Einheit gezählt (siehe Kapitel 3.3.2). Gibt es also zu einem technologischen Aspekt zehn Patente, welche in einer Patentfamilie zusammengefasst sind, so wird diese nur einmal gezählt. Da es in der vorliegenden Arbeit um die Einordnung von Themen geht, wird diese Vorgehensweise als die sinnvollste erachtet. Würden zehn Patente zum gleichen technologischen Aspekt gezählt, könnte die Analyse verzerrt werden.

Patenzitationen auf Nicht-Patent-Literatur

Nach Verbeek u. a. (2002, S. 404) gibt es zwei unterschiedliche Methoden, um die Verbindung zwischen Patent- und wissenschaftlicher Literatur zu untersuchen: die direkte und die indirekte Methode. Die indirekte Methode untersucht diesen Autoren nach die Mobilität von Wissenschaftlern und Ingenieuren und den Prozess ihrer Ausbildung. Indem man die Karriere und die verschiedenen Arbeitsplätze dieser Menschen verfolgt, kann beobachtet werden, wann Wissenschaftler zum Beispiel von einer Universität in eine Firma wechseln und vice versa. Damit lassen sich wiederum Rückschlüsse darüber schließen, wann Forscher wissenschaftlich publizieren und wann sie Patente anmelden. Diese Methode wurde für diese Arbeit nicht genutzt, da sie sich nicht oder kaum auf bibliometrische Daten stützt. Stattdessen wurde die direkte Methode gewählt, welche die Zitationen untersucht, die in Patenten auf sogenannte Nicht-Patent-Literatur (NPL) gesetzt werden. Diese Methode hat zwar nach Verbeek u. a. ebenfalls einige Nachteile (zum Beispiel unvollständige Datenbanken und ungleiche Verteilung von NPL-Zitationen), diese werden aber durch die große Anzahl der vorhandenen Daten und ihre hohe Qualität (zum Beispiel durch die Prüfung jedes Patenten durch den Mitarbeiter eines Patentamtes) mehr als ausgeglichen. Neben der NPL gibt es auch Patenzitationen, welche auf andere Patente verweisen. Diese dokumentieren laut der Fachliteratur, ebenso wie NPL-Zitationen, einen Wissenstransfer, zum Beispiel zwischen verschiedenen, patentierenden Firmen (Singh, 2007). Da dieser Wissenstransfer aber wenig über das Verhältnis von Grundlagen- und angewandter Forschung aussagt, wurden Patenzitationen in der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet.

Es gibt mehrere Gründe, wieso ein Patentprüfer ein Zitat auf NPL setzt und auch auf verschiedene Arten von NPL. Dabei sind nicht alle NPL-Zitate „echte“ Patenzitate, die für die Footprintanalyse relevant sind. In der vorliegenden Arbeit wurden die Motive, die Grupp u. Schmoch (1992, S.12-13) in ihrer grundlegenden Arbeit liefern, teilweise über-

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

nommen (die folgende Aufzählung stellt eine gekürzte Zusammenfassung dar):

1. Der Patentprüfer setzt ein Zitat, weil kein existierendes Patentdokument den früheren Stand der Technik beschreiben kann.
2. Es müssen nichtpatentierbare Forschungsergebnisse zitiert werden (Formeln, Hypothesen, Entdeckungen etc.).
3. Es existieren noch keine geeigneten Patentdokumente, wohl aber wissenschaftliche Publikationen des Erfinders, die in einem thematisch ähnlichen Bereich angesiedelt sind. Diese können dann als Zitat herangezogen werden.
4. Unternehmen verzichten auf eine Patentanmeldung, veröffentlichen ihre Ergebnisse aber trotzdem in einer firmeneigenen Publikation, um sich den Neuheitsanspruch zu sichern. Dieses Dokument kann in einem späteren Prüfverfahren ebenfalls als NPL zitiert werden.
5. Notwendige Verweise auf Patentdokumente, die nicht in einer dem Prüfer verständlichen Sprache (zum Beispiel Japanisch, Chinesisch etc.) vorhanden sind, werden über den Umweg einer Übersetzung eines Abstractdienstes gemacht. Ein solcher Verweis stellt eine NPL-Zitation dar, obwohl das zitierte Dokument eigentlich ein Patent ist.
6. Einfache Zusammenhänge, welche unter der Schwelle der Patentierbarkeit liegen, müssen per Zitation beschrieben werden. Dies können zum Beispiel das Aufdrehen einer mechanischen Uhr oder das Eindrehen einer Schraube sein. Hierfür werden Schulbücher und Enzyklopädien, die ebenfalls NPL sind, herangezogen.

Um eine Verbindung zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung mithilfe von NPL-Zitationen herzustellen, müsste nach Grupp u. Schmoch entschieden werden, unter welches Motiv die Zitation fällt. NPL-Zitationen, die aus den Motiven 5 und 6 gemacht werden, zeigen eine solche Verbindung nicht, da es sich bei Motiv 5 um zitierte Patente und bei Motiv 6 um Standardwerke handelt. NPL-Zitationen, welche das Motiv 4 als Grundlage haben, stellen ebenfalls keine Verbindung zur Grundlagenforschung dar, da es sich hierbei eigentlich nur um Anwendungen handelt. Motiv 3 muss ebenfalls nicht zwingend für eine Verbindung sprechen, für die Footprintanalyse wurden diese aber als relevante NPL-Zitationen erachtet, da dies in den meisten Fällen richtig ist. Eine Einordnung in die Motivation aller NPL-Zitationen eines Datensatzes müsste manuell durchgeführt werden. Ein solches Vorgehen wäre innerhalb des Rahmens der vorliegenden Dissertation aber zu

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

aufwändig gewesen. Deshalb werden in dieser Arbeit zunächst alle NPL-Zitationen als relevant betrachtet. In einem zweiten Schritt werden dann die am häufigsten vorkommenden Zitationen näher analysiert.

Nun könnte man davon ausgehen, dass eine hohe Zahl von Zitationen zur Nicht-Patent-Literatur auch eine hohe Anwendbarkeit der Entdeckung oder der Technologie bedeutet. Ebenfalls könnte man davon ausgehen, dass eine Entwicklung, die nur eine NPL-Zitation aufweist, einen weniger hohen Grad der Anwendbarkeit besitzt als eine mit mehreren NPL-Zitationen. Diese Aussage scheint jedoch nicht richtig zu sein, da die Prüfer der Patente, welche NPL-Literatur zitieren, sehr genau vorgehen müssen. Dies bedeutet, dass es durchaus möglich ist, dass eine NPL-Zitation bereits alle technologischen Ansprüche des Patents abdeckt, wohingegen bei einem anderen Patent möglicherweise mehrere NPL-Zitationen gebraucht werden, um den wissenschaftlichen Hintergrund aller Ansprüche ausreichend zu beschreiben. In der Footprintanalyse ähnlichen Studien wird so vorgegangen, dass bereits eine NPL-Zitation ausreicht, um zu definieren, ob das jeweilige Patent bereits eine Bindung an die Wissenschaft besitzt. Mehrere Zitate haben keine weitere Relevanz in diesen Untersuchungen (Grupp u. Schmoch, 1992, S.17).

Bei der Durchführung einer Footprintanalyse wird dieser Vorgehensweise teilweise gefolgt. Eine geringe Anzahl von Patentfamilien, welche den Genesisartikel oder Publikationen aus dem Zitations- oder Suchanfragendatensatz zitiert, kann anders gewertet werden als wenn viele Patentfamilien dies tun. Per definitionem ist der Genesisartikel eine Publikation, die eine neue wissenschaftliche Entdeckung oder Technologie beschreibt, und welche als häufige Grundlage für weitere wissenschaftliche Publikationen gedient hat. Diese Tatsache müsste sich auch in den NPL-Zitationen der Prüfer niederschlagen. Weist ein Patentdatensatz eine hohe Anzahl von Zitationen zum jeweiligen Genesisartikel, Zitations- oder Suchanfragendatensatz auf, dann wird dies in dieser Arbeit so interpretiert, als hätte er auch eine starke Bindung an die wissenschaftliche Literatur zum jeweiligen Thema. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wird der Anteil der Patente mit Verweis auf den Genesisartikel oder die jeweiligen Datensätze zum gesamten Patentdatensatz berechnet. Hier reicht also bereits eine NPL-Zitation pro Patent, um als zitierende Patentfamilie zu gelten. Außerdem wird die Anzahl aller NPL-Zitationen im Patentdatensatz angegeben und basierend auf dieser Zahl ebenfalls der Anteil aller NPL-Zitationen berechnet, die den jeweiligen Datensatz zitieren. Dies wird gemacht, weil die Möglichkeit besteht, dass zwar nur wenige Patentfamilien Genesisartikel oder einen der zwei Datensätze zitieren, innerhalb dieser Patentfamilien aber sehr viele Zitationen auf Genesisartikel oder die Datensätze verweisen.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Mit diesen Werten kann also unterschieden werden zwischen einem Patentdatensatz, bei dem nur wenige Patentfamilien sehr häufig Publikationen aus den Datensätzen beziehungsweise den Genesisartikel zitieren, und einem, in dem viele Patentfamilien jeweils wenige Publikationen zitieren.

Einer der ersten Forscher, der sich mit der Verbindung von Patenten und wissenschaftlichen Publikationen beschäftigt hat, war Francis Narin. In seinen Studien untersuchte er ebenfalls die NPL-Zitationen von Patenten und kommt zu dem Schluss, dass die Science Linkage von Technologien zunimmt und damit eine öffentliche Förderung von wissenschaftlicher Forschung gerechtfertigt ist. Nach Narin wird Science Linkage, in diesem Beispiel für Unternehmen, auf folgende Weise berechnet (Narin u. a., 2004, S. 558):

„It is calculated on the basis of the average number of references on a company’s patents to scientific papers, as distinct from references to previous patents. Companies whose patents cite a large number of scientific papers are assumed to be working closely with the latest scientific developments.“

Narin weist darauf hin, dass diese Zahl in unterschiedlichen Technologiefeldern unterschiedlich hoch ist, und ein Vergleich deshalb nur möglich ist, wenn diese Unterschiede berücksichtigt werden. Die zitierte NPL-Literatur stammte dabei meist aus der Grundlagenforschung, war neueren Datums und wurde in wichtigen Kernjournalen veröffentlicht. Er bestätigte außerdem die Vermutung, dass es zwischen Patenten und wissenschaftlichen Publikationen mehr Gemeinsamkeiten als Unterschiede gibt, und dass sich die Daten beider Dokumentarten in bestimmten Themenfeldern einander annähern. (siehe Narin u. Noma, 1985, Narin, 1994 und Narin u. a., 1997).

Callaert u. a. (2006) haben in einer Studie die NPL-Zitationen detailliert untersucht. Sie hatten zwei Patentdatensätze der Jahre 1991 bis 2001 zur Verfügung. Der eine bestand aus Patenten der USPTO, der andere vom Europäischen Patentamt (siehe Tabelle 4.1).

Sie kamen zu dem Ergebnis, dass in dem amerikanischen Datensatz 34% aller Patente auch NPL-Zitationen aufweisen. Dabei macht die Anzahl der NPL-Zitationen einen Anteil von 17% an allen Referenzen in dem Datensatz aus, also NPL-Zitationen und Patentzitationen zusammen. Die Zahlen in Europa sehen ähnlich aus: 38% aller Patente beinhalten NPL-Zitationen und ebenfalls 17% aller Referenzen sind Referenzen auf NPL. Die Autoren konnten außerdem zeigen, dass die durchschnittliche Anzahl von NPL-Zitationen (in der Studie „Non-Patent-Reference-Intensity“ oder „NPR-Intensity“ genannt) pro Patent mit NPL-Zitationen im Laufe des untersuchten Zeitraums nur schwach schwankt (in den USA

Tabelle 4.1: Übersicht der Ergebnisse der Studie von Callaert u. a. (2006), S. 7. Die NPR-Intensity wurde dort definiert als die durchschnittliche Anzahl der NPL-Zitationen pro Patent mit NPL-Zitation.

Technologiefeld	NPR-Intens. (EPO)	NPR-Intens. (USPTO)
Electrical Engineering	2,24	4,83
Instruments	2,32	6,72
Chemistry, Pharmaceuticals	2,68	13,23
Process Engin., Special Equip.	2,08	4,66
Mechanical Engin., Machinery	1,74	3,27

nahm sie leicht zu, in Europa leicht ab). Sie berechneten jene NPR-Intensity, in welcher alle Patente, also auch jene ohne NPL-Zitationen, in die Rechnung mit einbezogen wurden. Dieser Wert war naturgemäß niedriger, da nicht alle Patente NPL-Zitationen beinhalten. In der Studie nutzten sie des Weiteren auch die Zahlen, die sich auf Patente mit NPL-Zitationen bezogen und untersuchten, wie stark sich die NPR-Intensity in verschiedenen Technologiefeldern unterscheidet. In den USA war diese erwartungsgemäß generell höher als in Europa (siehe Kapitel 3.3.2). Am höchsten lag sie im Feld „Chemistry, Pharmaceuticals“ mit durchschnittlich 13,23 NPL-Zitationen pro Patent mit NPL-Zitation (Europa: 2,68) und am niedrigsten im Feld „Mechanical Engineering, Machinery“ mit einem Wert von 3,27 (Europa: 1,74). Wo möglich, wurde in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt, dass der Anteil an NPL-Zitationen in verschiedenen Technologiefeldern unterschiedlich hoch ist (Siehe hierzu auch van Looy u. a., 2003, Tabelle 4.2 und van Looy u. a., 2007, welche von „science intensity“ sprechen. Dieser Indikator wird dort definiert wie die „NPR-Intensity“, in der Studie von 2003 wird dieser auf die durchschnittliche Anzahl von NPL-Zitationen pro 100 Patenten hochgerechnet. In beiden Studien wurden alle Patente in die Rechnung einbezogen, nicht nur jene mit NPL-Zitationen.).

Michel u. Bettels (2001) haben ebenfalls Daten für verschiedene Beispielanwendungen aus unterschiedlichen Technologiefeldern bei europäischen Patenten erhoben. Die Autoren zeigen, dass in der Biochemie rund 60% aller Zitationen eines Patents NPL-Zitationen sind, wohingegen in der Medizin/Veterinärwissenschaft dieser Wert bei rund 31% liegt. Da viele Patente jedoch überhaupt keine NPL-Zitationen aufweisen, kommen die Autoren auf einen Durchschnitt von knapp 12% NPL-Zitationen bei allen von ihnen untersuchten Patenten (siehe Tabelle 4.3).

1998 hat E. J. Iversen auf einer Konferenz gezeigt, dass der Anteil aller US-Patente, die aus Norwegen stammen und NPL-Zitationen besitzen, bei 30% liegt (zitiert bei Mey-

Tabelle 4.2: Übersicht der Ergebnisse der Studie von van Looy u. a. (2003), S. 361. Die Average Science Intensity wurde dort definiert als die durchschnittliche Anzahl von NPL-Zitationen pro 100 Patente.

Technologiefeld	Average Science Intensity
Biotechnology	138,43
Pharmaceuticals	83,71
Organic fine chemistry	69,06
Semiconductors	56,44
Agriculture & food chemistry	42,39
Optics	21,89
Analysis, measurement & control technology	21,83
Information technology	20,39
Basic materials chemistry	20,2
Telecommunications	17,89

Tabelle 4.3: Übersicht der Ergebnisse der Studie von Michel u. Bettels (2001), S. 197. Berechnet wurde der durchschnittliche Anteil von NPL-Zitationen an allen Zitationen eines Patentes. Die Namen der Technologiefelder wurden teilweise gekürzt.

Technologiefeld	%-Anteil von NPL-Zitat.
Biochemistry – microorganisms or enzymes	60,1
Organic chemistry – peptides	58,6
Biochemistry – measuring/testing proc.	49,2
Acoustics – speech analysis/synthesis/speech recog.	43
Organic chemistry – sugars/nucleotides/nucleic acids	35,8
Computing – image data processing	34,9
Biochemistry – fermentation or enzyme using proc.	33,3
Electric communicat. tech. – transmission	32,1
Medical/vetenary sci. – med. dental/toilet purp.	31,6
Average of all EP applications	11,95

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

er, 2000a). Schmoch (1997) unterstützt die oben genannten Zahlen für die verschiedenen Technologiefelder. In seiner Untersuchung weisen „Biotechnology“ und „Organic Chemistry“ eine sehr hohe Wissenschaftsbindung auf (die auf S. 108 dieser Studie gezeigte Abbildung stammt aus einer früheren Studie von 1995 an welcher Schmoch beteiligt war). Hier wurde zunächst die durchschnittliche Anzahl von NPL-Zitationen pro Patent eines Technologiefeldes berechnet. Aus dieser Zahl wurde dann ein relativer Index der Nicht-Patent-Literatur, welcher „RNPL“ genannt wird, errechnet (siehe Tabelle 4.4).

Betrachtet man die Verteilung der NPL-Zitationen auf verschiedene Technologiefelder und Wissenschaftsdisziplinen, so wurde bei Verbeek u. a. (2002) für die Jahre 1992-1996 gezeigt, dass gerade einmal 7% aller untersuchten Technologiefelder für 40% der Interaktion mit der Wissenschaft über NPL-Zitationen verantwortlich sind. Außerdem stammten 80% dieser Zitationen, die auf Publikationen aus dem Web of Science wiesen, aus nur 18% aller Subject Areas (das entspricht 33 Subject Areas). Letzteres stellt annähernd eine Paretoverteilung dar und dokumentiert die Konzentration von NPL-Zitationen in bestimmten Wissenschafts- und Technologiefeldern. Die Konzentration vollzieht sich aber noch eine Ebene unter den Subject Areas: Auf 10% der untersuchten Journale konzentrieren sich 75% aller NPL-Zitationen. In ihrer Untersuchung von Autoren, Erfindern und sogenannten Autoren-Erfindern (Author-Inventors: Personen, die sowohl wissenschaftliche Publikationen verfassen, als auch Patente anmelden) kommen Breschi u. Catalini (2010) auch zu dem Ergebnis, dass hinsichtlich der Wissenschaftsbindung ein großer Unterschied zwischen den Disziplinen beziehungsweise Themen zu beobachten ist. Sie untersuchten die Themen „Laser“, „Biotechnology“ und „Semiconductors“. Bei Halbleitern lag der Anteil der Patente, welche wissenschaftliche Artikel zitieren, nur bei 13,5%, bei dem Thema „Laser“ dagegen bei 40,3% (Biotechnologie: 39,6%). Es wurde außerdem untersucht, wieviele NPL-Zitationen sich tatsächlich auf wissenschaftliche Artikel beziehen und welche nicht (siehe oben die verschiedenen Motive eine NPL-Zitation zu setzen). Hierfür wurde ein aufwändiger Algorithmus programmiert, um NPL-Zitationen innerhalb von wissenschaftlichen Journalen identifizieren zu können. Allerdings wurden nur Journals ausgewählt, die mindestens fünf Zitationen von Patenten erhalten hatten, es wurden also nicht alle wissenschaftlichen Artikel berücksichtigt. Eine solche Unterscheidung über den fast kompletten Datensatz wurde in der vorliegenden Arbeit nicht vorgenommen, allerdings wurden die am häufigsten vorkommenden NPL-Zitationen näher untersucht, um festzustellen, welcher Typ von NPL-Zitation jeweils vorliegt. Da die Verteilung von NPL-Zitationen, ebenso wie Zitationen bei wissenschaftlichen Publikationen, einer linksschiefen Verteilung folgt, ist somit

Tabelle 4.4: Übersicht der Ergebnisse der Studie von Schmoch (1997), S. 108. Berechnet wurde zunächst der Anteil von NPL-Zitationen an allen Zitationen eines Patentes. Anschließend wurde für jedes Technologiefeld ein relativer Index RNPL errechnet.

Technologiefeld	RNPL
Biotechnology	85
Pharmaceutics	68
Semiconductors	66
Org. Chemistry	61
Food	55
Data Processing	42
Optics	39
Materials	37
Telecommunications	32
Audiovisual technology	27
Basic materials chemistry	21
Control technology	20
Surfaces	17
Nuclear technology	8
Polymers	5
Electrical energy	-12
Environmental technology	-17
Chemical engineering	-26
Materials processing	-28
Machine tools	-46
Engines	-57
Food processing	-61
Thermal processes	-64
Handling, printing	-66
Medical technology	-70
Space technology	-78
Transport	-80
Mechanical elements	-85
Consumer goods	-88
Civil engineering	-93

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

sichergestellt, dass damit auch ein großer Teil der NPL-Zitationen nach diesem Gesichtspunkt analysiert wird. Zusätzlich wurde der Anteil von Patenten und NPL-Zitationen im Patentdatensatz berechnet, welcher sich auf Publikationen im Zitations- beziehungsweise Suchanfragedatensatz bezieht. Damit ist klar, dass diese Zitationen auf wissenschaftliche Literatur verweisen. Auch bei der Anzahl von NPL-Zitationen, welche sich tatsächlich auf wissenschaftliche Artikel beziehen, unterschieden sich die drei von Breschi u. Catalini untersuchten Themen stark voneinander.

Guan u. He (2007) kommen bei der Science Intensity chinesischer Patente, welche in den USA angemeldet wurden, zu ähnlichen Ergebnissen. Die höchste Science Intensity weisen dort die Felder „Biotechnology“, „Pharmaceutical“ und „Organic fine chemistry“ auf. Die niedrigste befindet sich in den Feldern „Consumer Electronics“, „Telecommunications“ und „Computer, office machinery“. Auch bei Patenten, die in Japan angemeldet wurden, konnten Tamada u. a. (2006) zeigen, dass sich die Verbindung zwischen Forschung und Technologie, ausgedrückt durch NPL-Zitationen, von Technologiefeld zu Technologiefeld unterscheidet. „Biotechnology“ und Felder aus dem Bereich der „IT“ gehörten in dieser Studie zu denjenigen mit der höchsten „Science Linkage“. Die Autoren weisen außerdem auf Technologiefelder wie „Automobile“ oder „Aerospace“ hin. Bei diesen sind die Produktionskosten sehr hoch, deshalb ist es den Autoren nach unwahrscheinlich, dass Universitäten sich an gemeinsamen Projekten mit Unternehmen beteiligen, die in diesen Feldern tätig sind. Daher ist die „Science Linkage“ (auch hier definiert als durchschnittliche Anzahl von NPL-Zitationen pro Patent) auch dort niedriger als zum Beispiel im Feld „Biotechnology“. Außerdem erwähnen die Autoren, dass es Technologiefelder gibt, zu denen erst gar keine Patente angemeldet werden. Das Wissen wird von den Unternehmen geheim gehalten, da dies ihnen strategisch sinnvoller erscheint. Solche Felder können nicht bibliometrisch untersucht werden, da keine Publikationen vorliegen. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Stärke der Verbindung zwischen Wissenschaft und Industrie disziplin- beziehungsweise themenabhängig ist, wobei aber auch nationale Einflüsse eine Rolle spielen können. Es fällt auf, dass sich die Ergebnisse der verschiedenen Studien hinsichtlich der Wissenschaftsbindung der verschiedenen Technologiefelder, ähneln. Die Felder „Biotechnology“ beziehungsweise „Biochemistry“ und „Pharmaceuticals“ haben bei den meisten Studien die höchste Bindung an die wissenschaftliche Literatur, während Felder wie „Automobile“ und „Civil Engineering“ eine niedrige Wissenschaftsbindung haben. Es scheint, als zeigten Technologiefelder die mit den Ingenieurwissenschaften zusammenhängen, eine niedrigere Wissenschaftsbindung. Damit könnte eine niedrige Wissenschaftsbindung ein Indikator dafür sein, dass ein

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Thema bereits Anwendungen gefunden hat.

Ein weiterer Aspekt bei NPL-Zitationen ist die unterschiedliche Art der Prüfung von Patentedokumenten in Europa und den USA. Es wurde beobachtet, dass europäische Patente generell weniger Zitationen (NPL- wie auch Zitationen auf Patentliteratur) aufweisen als amerikanische. Dies hängt damit zusammen, dass ein Patentanmelder in den USA dazu verpflichtet ist, alle ihm bekannten Dokumente, die mit seiner Erfindung im Zusammenhang stehen, zu zitieren. Tut er dies nicht, kann dies dazu führen, dass das Patent nicht erteilt wird. In Europa hingegen ist dieses Zitieren nur optional (Verbeek u. a., 2002). Die Anzahl der vom Patentanmelder gesetzten Zitationen beeinflusst wiederum die Zahl der Zitationen, welche vom Patentprüfer gesetzt wird. Dieser Punkt ist jedoch noch nicht abschließend geklärt. Meiner Meinung nach widerspricht die Erklärung der Tatsache, dass die untersuchten Zitationen sich auf die Zitationen der Patentprüfer beziehen. Und diese müssen auch in Europa möglichst alle, die neu angemeldete Erfindung betreffende, Dokumente zitieren. Aus diesem Grunde wurden, übrigens wie auch von Verbeek u. a. (2002), die auf dieses Problem hinweisen, Daten aus europäischen und dem amerikanischen Patentamt gemeinsam analysiert (siehe hierzu auch Kapitel 3.3.2 weiter oben).

In einigen Publikationen von Martin Meyer werden Patente der Nanotechnologie und die dort zitierte wissenschaftliche Literatur untersucht. Er kommt zu dem Schluss, dass das zitierte Wissen nicht direkt zu Patenten geführt hat (wie es das sogenannte „lineare Modell“ beschreibt, dazu mehr in Kapitel 4.2.6), sondern über den Umweg des Patentprüfers, dessen Aufgabe es ist, das Patent in einen wissenschaftlichen Rahmen zu stellen. Es existieren zwar Zitationen, die von den Anmeldern selbst gesetzt wurden, diese wurden in dieser Arbeit (wie auch in den meisten Arbeiten der entsprechenden Fachliteratur) aber nicht analysiert, da sie in der genutzten Datenbank nicht indexiert sind. Trotzdem weist er darauf hin, dass die durch die Patentprüfer zitierte Literatur genutzt werden kann, um beispielsweise Entscheidungen zu Fördergeldern für bestimmte Felder der Grundlagenforschung zu treffen (Meyer, 2000a und Meyer, 2000b). Dieser Schluss ist durchaus richtig, da die Prüfer in den jeweiligen Technologiefeldern, die sie zu prüfen haben, Fachleute sind. Ihre Zitationen stellen in vielen Fällen sogar präziser dar, auf welchen Untersuchungen und Studien das Patent beruht beziehungsweise welche wissenschaftlichen Felder das Patent thematisch berührt. Selbstverständlich gibt es auch in diesem Fall Ausnahmen, bei denen der Patentanmelder keine der vom Prüfer zitierten Literatur genutzt hat, sondern sein Wissen beispielsweise über Kollegen oder von Konferenzen bezogen hat. Meyer nennt NPL-Zitationen Indikatoren der „Technologierelevanz“ und nicht „measure of impact“. Ers-

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

tere ist für diese Arbeit relevant, da untersucht wird, wo sich ein Thema im Bereich der Forschungslandschaft verorten lässt. Nach Meyers Studien zeigt eine Patenzitation auf Nicht-Patent-Literatur nicht nur eine Verbindung zwischen Wissenschaft und Technologie, sondern noch mehr. Die Ergebnisse seiner Untersuchung widersprechen dem linearen Modell und zeigen, dass Wissen nicht nur von der Wissenschaft zur Anwendung, sondern auch umgekehrt fließt. In einer anderen Studie wird beschrieben, dass Patenzitationen weniger den Wissenstransfer aus der Wissenschaft in die Industrie zeigen, sondern dass sie generell einen Indikator für die Nähe zwischen diesen darstellen (Verbeek u. a., 2002). In ihrem Bericht „Measuring Innovation: A New Perspective“ benutzt die OECD ebenfalls Nicht-Patent-Literatur, um die Verbindung zwischen wissenschaftlicher Literatur und „Green Technology“ zu zeigen. Zusätzlich erhebt die OECD noch einen interessanten Indikator, um den Technologietransfer zwischen Ländern zu ermitteln. Dabei werden die Erstanmeldungen eines Patents mit den weiteren Anmeldungen in anderen Ländern verglichen. Eine Erstanmeldung in den USA, gefolgt von einer zweiten Anmeldung in Deutschland zwei Jahre später, wird als Transfer von den USA nach Deutschland gewertet (OECD, 2010, S.36-38). Bass u. Kurgan (2010) arbeiteten in ihrer Studie über Patente im Bereich der Nanotechnologie verschiedene Faktoren heraus, die den ökonomischen und technologischen Wert eines Patentes beeinflussen können. Interessanterweise ist einer dieser Faktoren die Anzahl der Referenzen auf Nicht-Patent-Literatur. Es scheint, als ob NPL-Zitationen nicht nur ein Indikator für die Verbindung zwischen Forschung und Technologie sind, sondern auch Hinweise auf den tatsächlichen finanziellen und technischen Nutzen eines Patentes liefern.

Die oben genannten zahlreiche Vorarbeiten zur Science Linkage in verschiedenen Technologie- und Wissenschaftsfeldern wurden genutzt, um eine Interpretation der in dieser Arbeit beobachteten Verbindungen zwischen dem Patentdatensatz und dem Zitations- sowie Suchanfragedatensatz durchzuführen. Wo möglich wurden die Ergebnisse dieser Vorarbeiten mit den Ergebnissen der Footprintanalysen verglichen. Zitiert ein großer Anteil der Patente aus dem Patentdatensatz den Zitations- beziehungsweise Suchanfragedatensatz oder tut dies ein hoher Anteil aller NPL-Zitationen im Patentdatensatz, dann wurde dies als Indikator dafür genommen, wie stark die Wissenschaftsbindung des Themas ist. Als Vergleichswert dienten die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen zum Indikator „Science Linkage“ und seiner Varianten. In dieser Arbeit wurde die Science Linkage als durchschnittliche Anzahl der NPL-Zitationen sowohl pro aller Patente als auch pro Patent mit NPL-Zitationen berechnet.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Neben Zitationen von NPL innerhalb von Patenten gibt es auch wissenschaftliche Publikationen, die Patente zitieren. Diese sind bisher sehr selten untersucht worden. Zu den ersten, welche sich dieser Art von Zitationen annahmen, gehören Glänzel u. Meyer (2003). In ihrer Studie stellten sie fest, dass nur rund 1,7% aller Publikationen des Science Citation Index Patente zitieren. Der Großteil der zitierenden, wissenschaftlichen Publikationen (knapp 70%) stammt aus dem Bereich der Chemie. Auch die zitierten Patente stammten zum größten Teil (53%) aus dem Technologiefeld der Chemie, gefolgt von Patenten aus dem Bereich „Drugs & Medical“ (17,5%). Da die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen, die Patente zitieren, relativ gering ist, und die meisten dieser Publikationen aus der Chemie stammen, wurde in dieser Arbeit auf eine Untersuchung dieser Art von Zitationen verzichtet.

Softwaretool – NPL-Zitationen

Die Analyse der NPL-Zitationen wurde mithilfe eines von Frank Fritsche am Fraunhofer INT in der Programmiersprache Perl geschriebenen Skriptes durchgeführt. Als Grundlage für die Analyse dienen dem Skript ein Datensatz mit Patenten aus dem Derwent Innovations Index sowie der Zitationsdatensatz oder Datensatz der Suchanfrage aus dem Web of Science. Das Skript analysiert das „Cited References“-Feld (CR-Feld) aus dem Patentdatensatz und vergleicht die dortigen Einträge mit den Publikationen aus den beiden anderen Datensätzen. Hat ein Patent im CR-Feld eine Publikation aus den anderen beiden Datensätzen zitiert, dann wird dies gezählt. Das Skript gibt eine Rangliste der Publikationen aus, die am häufigsten zitiert werden, sowie eine Liste der Patente, welche andere Publikationen zitiert haben. Außerdem wird ausgegeben, welche Publikationen zwar von den Patenten zitiert werden, sich aber nicht in den beiden anderen Datensätzen befinden.

Verbeek u. a. (2002) sind in ihrer Studie ähnlich vorgegangen. Dort wurden aber nur die NPL-Zitationen untersucht, die aus Zeitschriften stammten. Aus der Beschreibung des Algorithmus, mit dem die Daten bereinigt wurden, lässt sich schließen, dass eine aufwändigere Erkennung der Zitationen durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der Analyse mithilfe des Tools liefern Hinweise darauf, dass eine solch aufwändige Analyse durchaus sinnvoll ist. Eine einfache Suche entdeckt nicht alle Zitationen korrekt, wie im Folgenden anhand eines einfachen Beispiels gezeigt werden kann: Sucht man im Patentdatensatz zum Thema „Sphärische Fullerene“ nach dem Autor des Genesisartikels Harold Kroto (Der Eintrag im Zitationsdatensatz sieht folgendermaßen aus: [Kroto u. a. 1985] Kroto, Harold W. ; Curl, Robert F. ; Smalley, Richard E. ; O’Brien, Sean ; Heath, James R.: C60: Buckminsterfuller-

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

rene. In: Nature 318 (1985), S. 162–163.), dann finden sich folgende Zitierweisen für diesen Artikel (in Klammern die Unterschiede zur Angabe im Zitationsdatensatz aus dem Web of Science):

1. H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl & R. E. Smalley; "C()60: Buckminsterfullerene" Letters To Nature; vol. 318, Nov. 14, 1985; pp. 162-163. (Titel falsch geschrieben)
2. Kroto, H. W. et al; "C()60: Buck Minster Fullerene". (Titel falsch geschrieben, nur der Erstautor wird genannt)
3. Kroto, H. W. et al, Nature, 318, 162 (1985). (kein Titel, nur Erstautor wird genannt)
4. Kroto, et al. (1991) "C60: Buckminsterfullerene" 91, Chem. Rev., 1213-1235 (Titel richtig, alle anderen Angaben beziehen sich auf einen anderen Artikel)
5. Kroto et al., "C60 Buckinminsterfullerene," Nature, 318: 162-163 (1985) (Titelangabe mit HTML-Tags)
6. Kroto, H.W. et al, "C60 : Buckinsterfullerene," Nature, Nov. 14, 1985, vol. 318, pp. 162-163. (HTML-Tags und Schreibfehler im Titel)
7. Kroto und Smalley nachgewiesen [sic!] (Nature 318 (1985) 162) (Unklare Nutzung des Wortes „nachgewiesen“)
8. H. Kroto et al., "C60: Buckminster Fullerene", Nature 318, 162 (1985) (Titel falsch geschrieben)

Momentan werden mit dem Softwaretool des Fraunhofer INT fünf Suchdurchgänge hintereinander durchgeführt, um alle NPL-Zitationen allen Einträgen im Zitations- oder Suchanfragedatensatz zuzuordnen. Korrekt identifizierte NPL-Zitationen werden dabei aus den weiteren Durchgängen ausgeschlossen. Gesucht wird zunächst nach gleichem Jahr, gleichen Autoren, gleichem Titel und gleicher Zeitschrift. Findet das Tool im Zitations- oder Suchanfragedatensatz einen Eintrag, der alle diese Bedingungen erfüllt, dann wird die NPL-Zitation dem entsprechenden Eintrag zugeordnet. Bei den folgenden Durchgängen werden dann weniger strenge Regeln genutzt. Der zweite Suchdurchgang sucht nach gleichen Autoren, gleichem Jahr und gleicher Zeitschrift, der dritte Durchgang nach gleichen Autoren, gleichem Jahr und gleichem Titel. Die letzten beiden Durchgänge suchen

in den übrig gebliebenen Einträgen nach gleichem Titel und Jahr (vierter Suchdurchgang) und schließlich nach gleichen Autoren, gleichem Jahr und gleichen Seitenangaben. Mit diesen fünf Durchgängen konnten, im Vergleich zu einer manuellen Zuordnung, bereits gute Ergebnisse erzielt werden.

4.2.4 Bibliometrische Analyse des Suchanfragensatzes

Es besteht bei jedem Zitationsdatensatz die Möglichkeit, dass kurz nach der Veröffentlichung des Genesisartikels das ursprüngliche Thema von einer anderen wissenschaftlichen Community entdeckt und weiterentwickelt wurde. Somit kann es passieren, dass ein Großteil der den Genesisartikel zitierenden Artikel ein anderes Thema als der Genesisartikel hat. Deswegen, und um einen Vergleich zwischen den Ergebnissen des Zitationsdatensatzes und einer normalen Suchanfrage im Web of Science zu ziehen, wurde im nächsten Schritt die für die Patentanalyse genutzte Suchanfrage auch für wissenschaftliche Publikationen genutzt. Die über die Suchanfrage gefundenen Datensätze wurden der gleichen Analyse unterzogen wie die Zitationsdatensätze. Diese Datensätze werden in der vorliegenden Arbeit „Suchanfragensätze“ genannt. In der Bibliometrie wird üblicherweise mit solchen Datensätzen, die mithilfe von Suchanfragen zusammengestellt werden, gearbeitet.

Ähnlich verfahren Bettencourt u. a. (2008) in ihrer Studie. Mithilfe von Schlagwort- und Zitationssuchen wurden für verschiedene Themen Datensätze erstellt. Betrachtet wurde hier aber nicht nur die Gesamtzahl der Publikationen, sondern auch die Zahl der Autoren und ihre Publikationstätigkeit über die Jahre, um festzustellen wie sich ein Thema ausbreitet. Dafür wurde ein Modell genutzt, das sich an Modellen zur Ausbreitung von Epidemien orientiert und in einer früheren Studie vorgestellt wurde (Bettencourt u. a., 2006). Die Autoren untersuchten unter anderem das Thema „Carbon Nanotubes“, welches mit dem in der vorliegenden Arbeit untersuchten Thema „Sphärische Fullerene“ verwandt ist (siehe Kapitel 5.2.3).

Zusätzlich zu der Analyse des Suchanfragensatzes wird mithilfe eines von Marcus John und Frank Fritsche am Fraunhofer INT programmierten Perl-Skripts die Schnittmenge zwischen Zitations- und Suchanfragensatz bestimmt und diese aus dem Zitationsdatensatz entfernt. So kann die Anzahl und der zeitliche Verlauf der Publikationen festgestellt werden, welche zwar den Genesisartikel zitieren, aber nicht im Suchanfragensatz auftauchen. Der zeitliche Verlauf und die Schlagwörter des übrigen Zitationsdatensatzes (in dieser Arbeit „Differenzdatensatz“ genannt) können wertvolle Hinweise darauf geben, in welche Richtung sich das Wissen des Genesisartikels entwickelt hat, und inwiefern der Zita-

tionsdatensatz Aussagekraft für das Thema insgesamt besitzt. Allerdings ist im Laufe der Arbeit aufgefallen, dass selbst im Differenzdatensatz ein Großteil der Schlagwörter noch mit dem ursprünglichen Thema des Genesisartikels übereinstimmten. Dies rührt daher, dass selbst bei einem neuen Thema die Autoren weiterhin Keywords des Genesisartikels angeben. Aus diesem Grunde wird auf die Analyse des Differenzdatensatzes nur bei jenen Beispielen eingegangen, wo ein Unterschied zwischen dem Thema dieses Datensatzes und dem Thema des Genesisartikels festgestellt werden konnte.

Die Suchanfragen werden in der vorliegenden Arbeit so wiedergegeben wie sie im „Advanced Search“-Feld des Web of Science oder des Derwent Innovations Index eingegeben wurden. Dabei kamen Boolesche Operatoren und Trunkierungen in Form von „*“ (mehrere Zeichen) und „?“ (ein Zeichen) zum Einsatz. Gesucht wurde mit der Feldbezeichnung TS (topic). Dies umfasst die Suche im Titel, im Abstract und in den Schlagwörtern.

4.2.5 Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

Unternehmen haben ein vitales Interesse daran mit ihren Produkten Geld zu verdienen. Deshalb ist es unwahrscheinlich, dass Firmen besonders viel Geld in den Bereich der Grundlagenforschung investieren werden, da dort die Chance klein ist, die dabei gewonnenen Erkenntnisse schnell zu Geld zu machen. Es gibt allerdings auch Beispiele dafür, dass Firmen für große Fortschritte im Bereich der Grundlagenforschung gesorgt haben. Forscher der Bell Telephone Laboratories waren beispielsweise für die Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung verantwortlich (Hawking, 2007, S. 55). Diese Erkenntnisse waren für die wissenschaftliche Gemeinschaft zwar sensationell, viel Geld machte das Unternehmen damit zunächst jedoch nicht. Dies ist auch ein Grund dafür, warum Unternehmen eher versuchen, ihre wissenschaftlichen Erkenntnisse mithilfe eines Patents zu schützen, als diese Erkenntnisse in einem wissenschaftlichen Fachmagazin zu veröffentlichen. Sie wären dann nämlich für alle nutzbar.

Rosenberg (1990) schreibt, dass Unternehmen, die Grundlagenforschung betreiben, dies aus unterschiedlichen Gründen tun. Grundlagenforschung wird von Unternehmen zum Beispiel als langfristige Investition betrachtet. Es ist unter Umständen möglich, dass eine Entdeckung viele Jahre später zu neuen Produkten und damit zu höheren Einnahmen führen kann. Ebenso wird es als langfristige Investition gesehen, eigene Wissenschaftler im Unternehmen zu haben, die durch ihre Forschung Kontakt zur wissenschaftlichen Gemeinschaft halten. Als dritten Grund erwähnt Rosenberg, dass Grundlagenforschung in

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Unternehmen zufällig durchgeführt wird, obwohl eigentlich an einem angewandten Problem geforscht wird. Rosenberg nennt als Beispiele die Forscher Louis Pasteur (dessen Forschung an französischem Wein zur Begründung der Bakteriologie führte, siehe hierzu auch Kapitel 4.2.6), Sadi Carnot (der versuchte die Effizienz von Dampfmaschinen zu erhöhen und dabei die Grundlagen der Thermodynamik legte) und Karl Jansky (welcher von den Bell Labs beauftragt wurde, das statische Rauschen bei Telefongesprächen zu untersuchen und, wenn möglich, zu entfernen und dabei quasi die Radioastronomie begründete). Die Verbesserung der Kommunikation, allerdings zwischen Satelliten, lag nach Rosenberg auch der Forschung von Arno Penzias und Robert Wilson zugrunde, die dabei die oben erwähnte, kosmische Hintergrundstrahlung entdeckten. Auch hier ergab sich die Grundlagenforschung aus der Motivation einer Firma ein Produkt zu verbessern. Bei anderen Autoren wird die Grundlagenforschung, welche von Firmen durchgeführt wird, ebenfalls teilweise als anwendungsorientiert beschrieben (siehe zum Beispiel Stokes, 1997, S. 110).

Jansen (1995) geht in ihrer Studie davon aus, dass eine institutionelle Unterscheidung zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung heutzutage nicht mehr möglich ist, da die Grenzen inzwischen fließend sind. Die Unterschiede bei der sozialen Organisation von Forschungsgruppen sind eher in ihren Forschungszielen und -strategien zu finden. Eine scharfe Trennung ist tatsächlich nicht mehr möglich, aber die Institutionsanalyse kann meiner Meinung nach dennoch auf Trends innerhalb der Publikationszahlen von Institutionsgruppen hinweisen. Wie Rosenberg oben erwähnt, betreiben Firmen häufig unerwartet Grundlagenforschung. Der Fokus liegt weiterhin klar auf der angewandten, produktorientierten Forschung und damit kann die Information, dass Firmen zunehmend an einer Technologie oder wissenschaftlichen Entdeckung forschen und ihre Ergebnisse publizieren ein Indiz dafür sein, dass sich diese Technologie im Bereich der Anwendungsnähe befindet. Rosenberg (1992, S. 381) weist auch daraufhin, dass der größte Teil der Grundlagenforschung in den USA an Universitäten betrieben wird. Dies relativiert Jansens Aussagen, dass sich Grundlagen- und angewandte Forschung in ihren Forschungsmotiven unterscheiden, und dass eine grobe Einteilung nach Institutionszugehörigkeiten nicht möglich ist. Generell ist dies sicher richtig. Die oben genannten Beispiele zeigen aber, dass im Nachhinein angewandte Forschung auch zu Ergebnissen in der Grundlagenforschung führen kann, und dass bestimmte Gruppen von Institutionen Schwerpunkte in der Grundlagen- oder angewandten Forschung haben. Ähnlich formuliert dies schon Reagan (1967), indem er darauf hinweist, dass, zumindest aus der Sicht einiger Forscher, Forschung an Universitäten immer Grundlagenforschung ist.

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Da die Institutionszugehörigkeit der Autoren einer wissenschaftlichen Publikation fast immer mitindexiert wird, kann diese im Zitationsdatensatz entsprechend analysiert werden.

Softwaretool – Institutionsthesaurus

```
I00268::UNI::FRA::Ecole Normale Super::
I00269::UNI::FRA::Ecole Super Elect Ouest::Ecole Super Electron Ouest::Ecole Super Electron Quest::
I00270::UNI::FRA::Ecole Super Elect::
I00272::TUN::CHE::Ecole Polytech Fed Lausanne::
I00273::TUN::CAN::Ecole Polytech::
I00275::RSI::KOR::Elect & Telecommun Res Inst::
I00276::COM::USA::Euclid Techlabs LLC::
I00277::RSC::NLD::European Space Technol Ctr::
I00278::RSI::NLD::FOM, Inst Atom & Mol Phys::Inst Atom & Mol Phys AMOLF::
I00279::UNI::DEU::Ernst Moritz Arndt Univ Greifswald::
I00280::SOC::DEU::Max Planck Inst Polymer Res::
I00281::COM::USA::Etenna Corp::
I00282::COM::USA::Ethertron Inc::
I00285::UNI::SCG::Inst Phys, Belgrade::
I00287::UNI::FRA::Fac Sci & Tech St Jerome::Fac Sci & Tech St Jerome Case 161::
I00288::UNI::TUN::Fac Sci Tunis::
I00289::COM::SGP::Faltermeier Conservat Restorat::
I00290::RSI::GRC::Fdn Res & Technol Hellas::Fdn Res Technol Hellas::FORTH, IESL::FORTH, Res Ctr Cret
Iraklio::FORTH, IESL, Iraklion::FORTH, Inst Elect Struct & Laser::FORTH, Inst Elect Struct & Laser,
Iraklion::FORTH, Iraklion::
I00292::UNI::BEL::Fac Univ Notre Dame Paix::
I00293::RSI::DEU::Ferdinand Braun Inst Hochstfrequenztech::
I00294::COM::CAN::Faustus Sci Corp::
I00295::RSI::USA::Fermilab Natl Accelerator Lab::
I00296::RSC::USA::Fox Chase Canc Ctr::
I00297::UNI::TUN::Feng Chia Univ::
I00298::RSI::KOR::GIST, Adv Photon Res Inst::
I00299::COM::ITA::GSD Srl::
```

Abbildung 4.1: Beispieleinträge aus dem Institutionsthesaurus. Die Spalten sind durch Doppelpunkte getrennt. In der ersten Spalte befindet sich für jeden Eintrag eine eindeutige Identifikationsnummer. Die zweite und dritte Spalte zeigen die Kategorie und das Herkunftsland der Institution. In der vierten und allen folgenden Spalten befinden sich die Namen der Institution und alle bekannten Alternativnamen.

Zunächst müssen für diese Analyse die Institutionen, welche im jeweiligen Zitationsdatensatz vorkommen, in Kategorien eingeteilt werden. Hierfür wurde ein Institutionsthesaurus (siehe Abbildung 4.1) erstellt, der mithilfe der Adressfelder der analysierten Publikationen halbautomatisch befüllt wurde. Für jeden Eintrag wurde eine eindeutige Identifikationsnummer, die Kategorie und das Herkunftsland der Institution eingetragen. Außerdem wurden Institutionsnamen und bekannte Alternativnamen hinzugefügt, damit die gleiche Institution nicht mehrere Einträge erzeugt. In der Abbildung (farblich hervorgehoben) ist als Beispiel die Institution „FORTH“ von der Insel Kreta eingetragen. Dabei handelt es sich um die „Foundation for Research & Technology Hellas“. Im Web of Science ist diese Institution mit mehreren Bezeichnungen vertreten wie „Fdn Res & Technol Hellas“, „Fdn Res Technol Hellas“, „FORTH, IESL“ (das IESL ist ein Institut der FORTH, nämlich das

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

„Institute of Electronic Structure & Laser“) oder „FORTH, Res Ctr Crete“. Mithilfe des Institutionsthesaurus können diese Bezeichnungen korrekt erkannt werden. Der Thesaurus wird nur halbautomatisch befüllt, weil das Programm „XCatInst“, welches unter Federführung von Marcus John am Fraunhofer INT programmiert wurde, zunächst nur nach Mustern innerhalb der Institutionsnamen sucht wie zum Beispiel „Univ“ für Universitäten, „Hosp“ für Krankenhäuser oder „GmbH“ für Unternehmen. Damit lassen sich durchschnittlich 50-70% eines Datensatzes zuordnen. Die übrigen Institutionen können dann per Hand und einer entsprechenden Internetrecherche einsortiert werden. Bei Beendigung der Arbeiten am Institutionsthesaurus (Stand: 15. Februar 2011) beinhaltete er 7144 Einträge.

Softwaretool – Bibanalyse

Im nächsten Schritt wurde das Programm „Bibanalyse“ (ebenfalls am Fraunhofer INT von Marcus John und Frank Fritsche programmiert und weiterentwickelt) eingesetzt, um die Institutionen innerhalb des jeweiligen Datensatzes ihren Kategorien zuzuordnen, zu zählen und nach Publikationsjahren einzuteilen. Beim Einordnen hat sich folgende Aufteilung als sinnvoll erwiesen:

1. Universitäten
2. Nationale Forschungsinstitute
3. Akademien der Wissenschaft
4. Forschungszentren
5. Museen
6. Militärische Forschungseinrichtungen
7. Unternehmen
8. Technische Universitäten
9. Technische Fachhochschulen
10. Technische Institute/Institute angewandter Forschung
11. Medizinische Forschungseinrichtungen (Hospitäler, Krankenhäuser etc.)
12. Wissenschaftliche Gesellschaften

13. Sonstige

Die ersten fünf Kategorien stehen dabei für Institutionen, die eher eine Grundlagenorientierung aufweisen. Die Kategorien sechs bis elf deuten auf eine Anwendungsorientierung. Die wissenschaftlichen Gesellschaften sowie die Kategorie „Sonstige“ stellen eine Mischung dar. Die Fraunhofer-Gesellschaft besitzt zwar eine klare Mission im Bereich der angewandten Forschung, die Max-Planck-Gesellschaft dagegen eine im Bereich der Grundlagenforschung. Es wäre daher sicherlich sinnvoll, diese Kategorie aufzulösen und die Inhalte nach Anwendungs- und Grundlagenorientierung einzuordnen. Aufgrund des hierfür nötigen großen Aufwands und der meist heterogenen Orientierung der Forschungsgesellschaften wurde in dieser Arbeit aber darauf verzichtet. Unter der Kategorie „Sonstige“ finden sich beispielsweise Regierungsorganisationen wie die Europäische Kommission oder das chinesische Bildungsministerium. Diese Kategorien wurden als nächstes in drei Gruppen zusammengefasst:

1. Grundlagenorientiert (Universitäten, Nationale Forschungsinstitute, Akademien der Wissenschaften, Forschungszentren, Museen)
2. Gemischte Orientierung (Wissenschaftliche Gesellschaften, Sonstige)
3. Anwendungsorientierung (Militärische Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Technische Universitäten, Technische Fachhochschulen, Technische Institute/Institute angewandter Forschung, Medizinische Forschungseinrichtungen (Hospitäler, Krankenhäuser etc.))

Die Gruppen spiegeln den jeweiligen Trend zur Anwendungs- oder Grundlagenorientierung der in ihnen vorkommenden Kategorien wider. Eine ähnliche Einteilung, nämlich in „Companies“, „Universities“ und „Public research organisations“ nahmen Breschi u. Catalini (2010) in ihrer Studie vor. Auf Grundlage dieser Einteilung analysierten sie die Institutionen, an denen „Autoren-Erfinder“ tätig sind (siehe Kapitel 4.2.3). Damit vergleichbar ist auch die Einteilung von Journals in sechs Klassen, die von Tijssen (2010) durchgeführt wurde. Hierfür analysierte er ebenfalls die Institutszugehörigkeit der Autoren. Relevant für die sechs Klassen war, wie stark die einzelnen Journals „Industrial Relevance“, „Clinical Relevance“ oder „Civic Relevance“ aufwiesen. Je nach Höhe der Anteile dieser drei Gruppen ordnete Tijssen die Journale einer der folgenden Klassen zu (die Aufzählung findet sich in der Studie auf S. 1849):

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

1. „A: Academic journals: very few or no contributions from industry and private sector organizations, nor from general hospitals and medical centers.“
2. „I: Industry relevant journals: some contributions from industry.“
3. „I+: Industry practice journals: many contributions from industry.“
4. „C: Clinical relevant journals: some contributions from general hospitals.“
5. „C+: Clinical practice journals: many contributions from general hospitals.“
6. „I-C: Industry-clinical relevant journals; some contributions from both industry and general hospitals.“

Der Autor hat ähnliche Daten erhoben wie in der vorliegenden Arbeit, diese dann aber anders eingeteilt. Unter „Clinical Relevance“ würde in der vorliegenden Arbeit die Kategorie „Medizinische Forschungseinrichtungen (Hospitäler, Krankenhäuser etc.)“ fallen. Die Kategorie „Unternehmen“ entspräche Tijssens Gruppe „Industrial Relevance“. Unter „Civic relevance“ fallen zum Beispiel Publikationen von Regierungsorganisationen und Ministerien. Diese Gruppe wäre also Teil der Kategorie „Sonstige“. Alles, was darüber hinausgeht, gehört nach Tijssen in keine seiner Gruppen und wäre damit als akademische Publikation zu betrachten. Da es in dieser Arbeit aber primär darum geht Trends in der Grundlagen- und angewandten Forschung zu erkennen, wurde hier eine andere Aufteilung vorgenommen.

Die Wachstumskurven und der daraus resultierende Anteil der jeweiligen Gruppen an der Gesamtanzahl der publizierenden Institutionen stellen die Indikatoren dieser Analyse dar. Wächst beispielsweise die Anzahl der Publikationen aus dem Bereich der anwendungsorientierten Institutionen und nimmt damit deren Anteil an allen publizierenden Institutionen zu, dann kann dies dafür sprechen, dass das Thema zunehmend anwendungsorientierter wird. Analog trifft eine stärkere Grundlagenorientierung bei einem starken Anwachsen der Publikationen von grundlagenorientierten Forschungsinstituten zu. Um die Daten besser darzustellen, wurde der Anteil der jeweiligen Gruppen an allen Publikationen des jeweiligen Jahres dargestellt. Absolute Zahlen wurden, wo nötig, im Text diskutiert.

4.2.6 Die Subject-Area Quadrant-Allocation

In diesem Kapitel wird eine neue Methode zur Einordnung von Technologien und wissenschaftlichen Entdeckungen, genannt „Subject-Area Quadrant-Allocation“,¹⁰ vorgestellt.

¹⁰Die Zeitschriftenkategorien des Web of Science werden im Web of Science „Subject Areas“ genannt, in der Datenbank „Journal Citation Reports“ heißen sie jedoch „Subject Categories“. Die beiden Begriffe

Bevor jedoch die eigentliche Methode erklärt wird, soll auf die Theorie hinter der Methode und auf die Fachliteratur, welche zur Entwicklung der Methode geführt hat, eingegangen werden.

Grundlagenforschung und angewandte Forschung

Ein zentrales Anliegen dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode, mit der gemessen werden kann, ob verschiedene Technologien oder wissenschaftliche Entdeckungen Teil der angewandten Forschung oder der Grundlagenforschung sind. Um eine solche Messung durchführen zu können, muss klar definiert sein, was mit den Begriffen „Angewandte Forschung“ und „Grundlagenforschung“ gemeint ist.

Wie bereits in der Einleitung geschildert, wird in der Forschung zwischen diesen beiden Feldern unterschieden. Grundlagenforschung wird dabei meist als Forschung verstanden, die primär der Erkenntnis oder dem Verstehen von Phänomenen einzelner Disziplinen dienen. Die Grundlagenforschung unterscheidet sich nach dieser Definition klar von der angewandten Forschung, welche weniger nach Erkenntnis strebt, sondern danach, einen Nutzen aus dem Wissen zu ziehen. Dieser Unterschied findet sich bei der Selbstbeschreibung einzelner Forschungsgesellschaften ebenso wie in der Beschreibung von Grundlagenforschung des Bundesministeriums für Forschung¹¹. Es gibt viele bibliometrische Studien, in denen dieser Unterschied vorausgesetzt wird. So kommt eine ältere Untersuchung von Frame u. Carpenter (1979) zu dem Ergebnis, dass Grundlagenforschung generell stärker international vernetzt ist als angewandte Forschung.

Die Einteilung in zwei mehr oder minder klar umrissene Forschungsgebiete, deren Grenzen fließend sein können, wurde in den USA nach dem zweiten Weltkrieg entscheidend durch Vannevar Bush (1960) und seinen Bericht „Science: The Endless Frontier“ geprägt. Während des Krieges war Bush der Direktor des „Office of Scientific Research and Development“. Sein Büro war mit der Koordinierung wissenschaftlicher Projekte während des Krieges betraut. Ein Jahr vor Beendigung des Krieges, beauftragte der damalige Präsident der USA, Franklin D. Roosevelt, Bush 1944 mit der Erstellung eines Berichtes zu der Frage, wie die Rolle der Wissenschaft nach dem Krieg aussehen sollte. In seinem Bericht, an dessen Erstellung vier wissenschaftliche Komitees beteiligt waren, stellte Bush einige Leitsätze auf, die teilweise bis heute sowohl in der Wissenschaft als auch in der Politik genutzt werden. Einige dieser Leitsätze sind auch für diese Arbeit von Relevanz und sol-

werden in dieser Arbeit synonym benutzt.

¹¹siehe <http://www.bmbf.de/de/98.php> (abgerufen am: 16. 3. 2009)

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

len kurz dargestellt werden: Der erste Leitsatz handelt von der Beschreibung des Begriffs „Grundlagenforschung“ (im Original „Basic Research“ genannt). Nach Bush führt Grundlagenforschung zu „neuem Wissen“ und erzeugt „den Fundus, aus dem die praktischen Anwendungen des Wissens gezogen werden“. Grundlagenforschung ist der „Schrittmacher des technologischen Fortschritts“ und eine Nation, die sich auf andere verlässt, um an neue Erkenntnisse der Grundlagenforschung zu kommen, würde schon bald ihren eigenen Fortschritt verlangsamen (Bush, 1960, S. 19). Bei Kidd (1959) finden sich weitere Definitionen von „Basic Research“ aus der Zeit nach Bush. Der Autor macht eine interessante Unterscheidung zwischen zwei Gruppen von Definitionen und zwar jenen, welche sich an den Motiven der Wissenschaftler und jenen, welche sich an der Breite des gewonnenen Wissens orientieren. Bushs Definition gehört zur ersten Gruppe. Kidd weist darauf hin, dass die beiden Gruppen unterschiedliche Voraussetzungen haben. Die eine bezieht sich auf die Umstände der Forschung, die andere dagegen auf die Ergebnisse der Forschung. Letztere kann also von Entscheidungsträger zunächst nicht genutzt werden, da sie über die Verteilung von Forschungsgeldern befinden müssen und die Ergebnisse, zum Beispiel eines Forschungsprojekts, bei der Entscheidung noch nicht vorliegen. Meiner Meinung nach ist dies einer der Gründe dafür, wieso sich Bushs Definition beziehungsweise die Definitionen aus der ersten Gruppe bis heute durchgesetzt haben. Es ist aber möglich, wie in der vorliegenden Arbeit, bereits vorhandene Ergebnisse zu analysieren und die Erkenntnisse aus dieser Analyse für zukünftige Entscheidungen zu nutzen.

Der zweite Leitsatz von Bush besagt, dass Grundlagen- und angewandte Forschung zwar nicht streng voneinander zu trennen sind und Forscher in der Industrie sich auch mit grundlegenden Fragen beschäftigen können, grundsätzlich aber gilt, dass „die ergebnisorientierte angewandte Forschung Grundlagenforschung verdrängt“ (Bush, 1960, S. 83). Bush meinte damit, dass Grundlagenforschung, die weder ein Ergebnis noch eine kommerzielle Anwendung zum Ziel hat, durch Förderung des Staates geschützt werden muss, da sonst nur noch angewandte Forschung betrieben wird. Die Industrie hat keinen direkten Nutzen von der Grundlagenforschung, da es dort um allgemeine Erkenntnis und das Verstehen der Natur und ihren Gesetzen geht. In Kombination mit seinem ersten Leitsatz führt dies jedoch dazu, dass irgendwann die angewandte Forschung keine neuen und grundlegenden Erkenntnisse zur Verfügung hat, und schließlich auch die angewandte Forschung stagniert. Nach Bush sind die Orte, an denen Grundlagenforschung in seiner reinsten Form betrieben wird, die Universitäten, da nur sie dem Wissenschaftler ein ideales Umfeld „akademischer Freiheit“ garantieren (Bush, 1960, S. 49-50). Diese Ansicht ist immer noch weit verbreitet.

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Bis heute wird davon ausgegangen, dass an Universitäten generell Grundlagenforschung betrieben wird, während Technische Universitäten, Technische Fachhochschulen und die Industrie sich mit der angewandten Forschung und der Produktentwicklung beschäftigen. Diese Ansicht wird auch in vielen bibliometrischen Studien vertreten, siehe zum Beispiel Schlögl u. Stock (2008). Was die Finanzierung der Grundlagenforschung angeht, so nennt Bush den Staat als einzigen zuverlässigen Förderer der Grundlagenforschung. Die Industrie kommt nach seiner beziehungsweise nach der Meinung des mit dieser Frage beauftragten Komitees, nicht in Frage (Bush, 1960, S.79). In seinem Bericht erwähnt Bush, dass manche Colleges in den USA einer Förderung durch den Staat durchaus kritisch gegenüber stehen. Der Grund war die Befürchtung, dass jede Art von Förderung einen gewissen Grad an Kontrolle von Seiten der Politik mit sich bringt (Bush, 1960, S. 124).

Dem Vorwort in Stokes (1997, S. vii) nach war Bushs Bericht in den USA und im Rest der Welt enorm einflussreich. Zwar folgte die US-Administration nicht allen Empfehlungen des Berichts, aber die Definition der Grundlagen- und angewandten Forschung wurde so übernommen und gilt teilweise bis heute (siehe beispielsweise die Definitionen der beiden Forschungsgesellschaften Max-Planck und Fraunhofer weiter oben in 2). Die aktuelle US-Administration unter Präsident Obama scheint diese Einteilung ebenfalls zu unterstützen. In einem SPIEGEL-Artikel vom 5. 5. 2009 begründet Obama eine Erhöhung der Forschungsgelder für die National Science Foundation mit den Worten „Grundlagenforschung ist wissenschaftliches Kapital“ (Schwägerl, 2009). Bis heute gilt auch, dass die Ergebnisse öffentlicher Forschung meistens als Gemeingut publiziert werden, während die Forschungsergebnisse von Firmen meistens in Patenten publiziert und damit für das Unternehmen allein geschützt sind. Allerdings wurde bereits versucht diese Trennung aufzuweichen, indem Gesetze verabschiedet wurden, welche das Patentieren für öffentlich finanzierte Universitäten lukrativer machen sollte (siehe Kapitel 4.2.3). Eine weitere Definition der Grundlagen- und angewandten Forschung liefert die Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Die OECD gibt in unregelmäßigen Abständen das sogenannte „Frascati Manual“ heraus, welches die Methodologie der OECD zur Messung von Forschungsaktivitäten verschiedener Staaten vorstellt. Die aktuelle Version des Frascati Manuals ist von 2002. Dort wird Basic Research folgendermaßen definiert (OECD, 2002, S. 30):

„Basic research is experimental or theoretical work undertaken primarily to acquire new knowledge of the underlying foundation of phenomena and observable facts, without any particular application or use in view.“

Angewandte Forschung definiert das Frascati Manual ähnlich wie Bush in seinem Bericht:

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

„Applied research is also original investigation undertaken in order to acquire new knowledge. It is, however, directed primarily towards a specific practical aim or objective.“

In dem Handbuch wird noch eine weitere Kategorie definiert, nämlich „Experimental Development“. Diese Kategorie ist für diese Dissertation als Teil der angewandten Forschung definiert. Wie man anhand der aktuellen Definitionen sehen kann, haben sie sich seit Bush gar nicht oder kaum verändert. Stokes stellt also richtig fest, dass die Definitionen dazu führen, dass Grundlagen- und angewandte Forschung voneinander getrennt betrachtet werden, obwohl die Grenzen zwischen beiden durchaus fließend sind. Stokes vertritt in seinem Buch, aus dem zentrale Aussagen für diese Dissertation übernommen wurden, die Meinung, dass diese Definition schon länger nicht mehr der Realität im Forschungsalltag entspricht und geändert werden muss, um unter anderem die Förderung der Forschung zu verbessern. Graphisch lassen sich mit der ursprünglichen Definition die beiden Forschungsgebiete relativ einfach darstellen (siehe Abbildung 4.2).

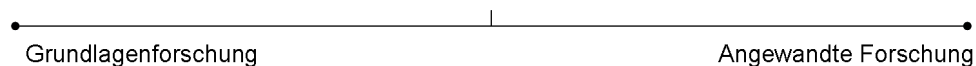


Abbildung 4.2: Einfaches Modell zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung (Quelle: Stokes, 1997, S. 10)

Als Erweiterung führt Stokes das Modell des „Technologie-Transfers“ an. Dieses Modell ist seiner Ansicht nach ebenfalls nicht vollkommen, er ist sich aber bewusst, dass dieses „lineare Modell“, gerade bei politischen Entscheidungsträgern, mittlerweile sehr verbreitet ist (siehe Abbildung 4.3).

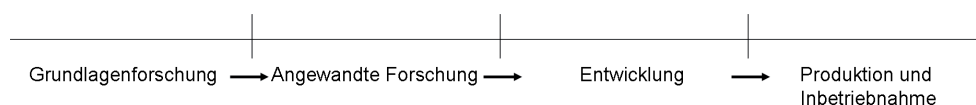


Abbildung 4.3: Lineares Modell des Technologie-Transfers (Quelle: Stokes, 1997, S. 10)

Das lineare Modell geht, wie der Name vermuten lässt, von einer linearen Entwicklung im Forschungs- und Entwicklungsprozess aus. Die Entwicklung beginnt bei der Grundlagenforschung. Dort werden neue Ideen, Probleme und Phänomene erforscht. Außerdem werden „Sackgassen“ in der Forschung gefunden. Das bedeutet, dass ein Ansatz aus den verschiedensten Gründen nicht weiter verfolgt werden kann. Diese Sackgassen können angewandten Forschern später allerdings dazu dienen neue Anwendungen zu finden. Nach der

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Grundlagenforschung beschäftigt sich die angewandte Forschung mit der Frage, wie man das Wissen der Grundlagenforschung sinnvoll einem Nutzen zuführen kann. Ein Ziel ist es, das „Mögliche in das Tatsächliche“ umzuwandeln. Die Entwicklungsphase ist schließlich dadurch gekennzeichnet, dass die Anwendungen in tatsächliche Produkte und Prozesse überführt werden. Am Ende des Modells steht die Produktion und Inbetriebnahme des neuen Produkts oder Prozesses. Bei diesem Modell wird klar, dass eine Phase immer auf der vorhergehenden aufbauen muss. Allerdings findet Stokes, dass dieses Modell die tatsächliche Praxis in der Wissenschaft nicht korrekt abbildet. Als Beispiel führt er den Forscher Louis Pasteur und die Tatsache an, dass nach ihm viele Fortschritte in der Grundlagenforschung durch die Frage eines Anwendungsbezuges inspiriert wurden. Als Gegenbeispiel für seine eigene These erwähnt Stokes Julius Robert Oppenheimer und Henry De Wolf Smyth, Wissenschaftler, die in den USA maßgeblich an der Entwicklung der Atombombe beteiligt waren. Beide waren der Meinung, dass ihre Entwicklungen ohne die vorangegangene Grundlagenforschung unmöglich gewesen wären. Um im linearen Modell zu bleiben: sie hatten auf der Phase der Grundlagenforschung aufgebaut und anschließend in den Phasen „Angewandte Forschung“, „Entwicklung“ und „Produktion und Inbetriebnahme“ gearbeitet. Stokes weist aber auch darauf hin, dass Vannevar Bush das lineare Modell (Abbildung 4.3) in seinem Bericht mit keinem Wort befürwortete (Stokes, 1997, S. 10-18). Er war aber der klaren Ansicht, dass Technologien und Anwendungen sich nur aus der Grundlagenforschung ergeben können (Bush, 1960, S. 19). Trotzdem wird Bush gerne als Urheber des linearen Modells bezeichnet, obwohl bewiesen werden konnte, dass die Idee eines vollständigen linearen Modells bereits in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts bei Maurice Holland, dem Direktor der Abteilung für Ingenieurwesen und industrielle Forschung des amerikanischen National Research Council, entstand (Godin, 2008). Nichtsdestotrotz ist Bushs Bericht eines der wichtigsten Dokumente über das lineare Modell, da er die Forschungsplanung nach dem Zweiten Weltkrieg entscheidend beeinflusst hat. Das lineare Modell ist nach Stokes mit einigen Änderungen auch von der OECD übernommen worden (siehe Abbildung 4.4).

In der aktuellen Version des Frascati Handbuchs von 2002 findet sich diese Abbildung allerdings nicht mehr (OECD, 2002). Eine abgewandelte Version der Abbildung aus dem Frascati Handbuch von 1970 wurde vom australischen „Science and Technology Council (ASTECC)“ genutzt. Dort überlappen sich die drei Felder „Tactical Research“, „Strategic Research“ und „Pure Research“ auf einer Skala, die von „Immediately applicable“ bis „Highly abstract“ reicht (ASTECC, 1981, S. 6) (zitiert und abgebildet in Stokes, 1997, S. 82). Das deutsche Bundesverteidigungsministerium geht wiederum von einer modifizierten Version

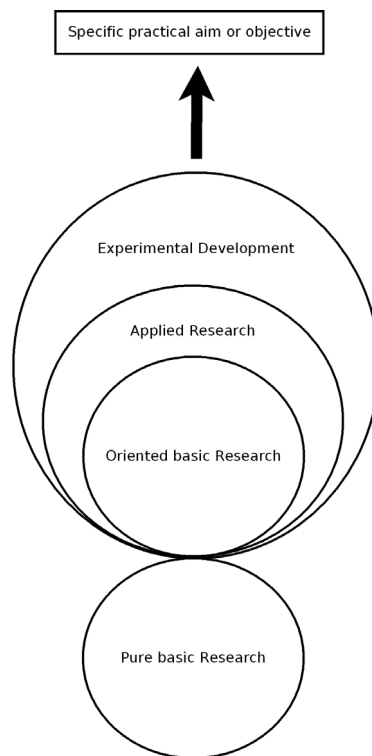


Abbildung 4.4: Einteilung der Grundlagen- und angewandten Forschung nach dem Frascati Handbuch von 1970 (Abgebildet in: Stokes, 1997, S. 66)

des linearen Modells des Technologie-Transfers aus¹². Das Ministerium unterscheidet dort drei Stufen, die aufeinander aufbauen:

1. „Forschung und Basistechnologie“
2. „Zukunftstechnologien“
3. „Systemtechnologie der Analysephase“

Auch die Technology Readiness Levels der NASA stellen eine Variante des linearen Modells dar (siehe weiter oben Kapitel 4.1), da sie von einer allmählichen Entwicklung des ersten Technology Readiness Levels (Grundlagenforschung) bis zur fertigen Erprobung einer Technologie (Entwicklung) ausgeht.

Der Sicht des linearen Modells stellt Stokes die Technologiesgeschichte entgegen. In seinen Augen waren es vor dem 19. Jahrhundert nicht die Wissenschaftler, welche die angewandte

¹²Nachzulesen unter: <http://www.bmvg.de/> über die Navigation zu Startseite > Ministerium > Aufbau und Funktion > Die zivilen Abteilungen > Hauptabteilung Rüstung > Stufen der Forschungs- und Technologieaktivitäten (abgerufen am: 08. 08. 2011).

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Forschung vorantrieben, sondern Menschen, die keine wissenschaftliche Ausbildung genossen hatten. Diese Situation änderte sich erst mit der zweiten industriellen Revolution Ende des 19. Jahrhunderts, die mit großen Fortschritten im Bereich der Physik, Chemie und Medizin einherging. In Bushs Leitsatz, der davon ausgeht, dass angewandte Forschung auf Grundlagenforschung aufbaut, betrachtet Stokes gerade diese Linearität als zentrales Problem. Seiner Meinung nach gehen Technologien nicht nur aus der Grundlagenforschung hervor, sondern viele Ideen und Inspirationen für die Grundlagenforschung kommen auch aus der angewandten Forschung (Meyer-Krahmer u. Schmoch, 1998, S. 848 sprechen im Zusammenhang von Wissenstransfer zwischen Universitäten und Industrieunternehmen von einer „two-way bridge“, im Gegensatz zu einer „one-way bridge“, wie sie ein lineares Modell voraussetzt.). Als berühmtes Beispiel führt er Johannes Kepler (1571-1630) an, der zwar eine Möglichkeit fand, das Volumen von Weinfässern zu berechnen, den Winzern aber keine Empfehlungen geben konnte wie der Bau von Weinfässern optimiert werden könnte. Die Winzer selbst hatten den Bau von Weinfässern über die Jahrhunderte bereits mit vielen Versuchen verbessert. Dies ist ein Beispiel dafür, wie eine Technologie (Bau von Weinfässern und deren Fassungsvermögen) die Grundlagenforschung (Berechnung des Volumens) inspirierte (Stokes, 1997, S. 19-21).

Als weiteres Beispiel für seine These, dass das Verhältnis von Grundlagen- und angewandter Forschung nicht linear ist, führt Stokes den Philosophen und Wissenschaftler Francis Bacon (1561-1626) an. Für Bacon waren nach Stokes Technik und Wissen eins, und im England seiner Zeit war der Unterschied zwischen diesen beiden Gebieten fließender als heute. In diesem Zusammenhang weist er auch darauf hin, dass das Wort „Technologie“ ein Neologismus ist, der erst im 19. Jahrhundert aufkam. In jener Zeit des Umbruchs also, in der die zweite industrielle Revolution stattfand. Stokes erklärt die Trennung zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung in jener Zeit mit einem sozialen Phänomen. Schon seit der Antike konnte sich nur derjenige mit Wissenschaft beschäftigen, der auch die Muße und einen gewissen Grad an Wohlstand besaß. Damit war die Wissenschaft über Jahrhunderte hinweg ein Privileg der oberen gesellschaftlichen Schichten. Die industrielle Revolution fand jedoch weder mehrheitlich in den elitären Zirkeln noch an den Universitäten statt. Die Triebkräfte dieser Revolution waren Erfinder, meist aus dem einfachen Volk oder der Mittelschicht. Diese Leute brauchten nach Stokes keine wissenschaftliche Ausbildung, um Erfolg zu haben. Im gleichen Jahrhundert wurden in Deutschland Technische Hochschulen eingerichtet, und eine scharfe Trennung zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung eingeführt. Die vorherige Trennung zwischen wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfindung

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

wurde damit abgelöst. In dieser Zeit wurden auch die Kaiser-Wilhelm-Institute gegründet, deren Nachfolger heute die Institute der Max-Planck-Gesellschaft sind. Stokes bezeichnet die Max-Planck-Institute als Institute der anwendungsinspirierten wissenschaftlichen Forschung, obwohl sich die Gesellschaft selber als Einrichtung der Grundlagenforschung betrachtet (siehe Kapitel 2). Dieser Unterschied in der Terminologie ergibt sich aus Stokes Definition zur Grundlagenforschung und anwendungsinspirierten Grundlagenforschung und stellt hier keinen Widerspruch dar (Stokes, 1997, S. 32-38). Um seine Argumentation zu unterstreichen, führt Stokes eine Arbeit des Autors Edwin Layton (1971, S. 562) an. Für Layton führten die Ereignisse des 19. Jahrhunderts dazu, dass sich die technologische Community, welche bis zu diesem Zeitpunkt kaum Änderungen seit dem Mittelalter durchgemacht hatte, stark veränderte. Die handwerklichen Strukturen wurden reformiert und an die Wissenschaft angepasst, was dazu führte, dass nun eine professionelle Ausbildung in der angewandten Forschung angeboten wurde. Damit wurde die angewandte Forschung eine Art „Spiegelbild-Zwilling“ der Grundlagenforschung, ähnlich und doch unterschiedlich (Stokes, 1997, S. 43). Weit verbreitet war aber weiterhin die klassische Ansicht, dass wissenschaftliche Forschung frei von Nutzen sein muss. Der Forscher Helmholtz (1862, S. 28) formulierte es so:

„Wer bei der Verfolgung der Wissenschaften nach unmittelbarem praktischen Nutzen jagt, kann ziemlich sicher sein, dass er vergebens jagen wird. Vollständige Kenntnis und vollständiges Verständnis des Waltens der Natur- und Geisteskräfte ist es allein, was die Wissenschaft erstreben kann.“

Nach Thomas S. Kuhn, der sich ebenfalls mit dem Verhältnis von Wissenschaft und Technologie befasst hat, und den Stokes (1997, S. 43-44) in seiner Arbeit ebenfalls nennt, führten diese Entwicklungen dazu, dass Deutschland im 19. Jahrhundert und bis zum Anfang des Zweiten Weltkrieges sowohl im Bereich der Grundlagenforschung, als auch im Bereich der angewandten Forschung weltweit führend war. Das antike Griechenland war für seine Wissenschaft und Philosophie bekannt, das antike Rom dagegen für seine Meisterleistungen im Ingenieurwesen. In der Neuzeit war Großbritannien bekannt für seine Ingenieure, nicht aber, von einigen Ausnahmen abgesehen, für seine Wissenschaftler. Dagegen war es in Frankreich genau andersherum. Für Kuhn liegt der Grund für den großen Erfolg Deutschlands aller Wahrscheinlichkeit nach in der Einrichtung der Technischen Hochschulen und der klaren Trennung von den Universitäten (Kuhn, 1977, S. 143). Diese Trennung wurde in den USA zunächst nicht praktiziert. Dort wurde sie zwischen angewandter- und Grundlagenforschung innerhalb der Universitäten vorgenommen. Zum Beispiel wurden an den

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Universitäten sowohl Lehrstühle für Mathematik, als auch für Ingenieurwissenschaften eingerichtet. Vor 1939 standen amerikanische Wissenschaftler einer Förderung der Wissenschaften durch den Staat skeptisch gegenüber. Diese Skepsis stammte aus der Zeit, als Wissenschaft noch aus Muße betrieben wurde und nicht dem Lebensunterhalt diente. Diese Einstellung änderte sich jedoch schnell mit dem Ausbruch des Zweiten Weltkrieges. Unter Vannevar Bush wurde das „Office of Scientific Research and Development“ eingerichtet, das mit der Aufgabe betraut war, die Wissenschaft in den Dienst des Krieges zu stellen. Wissenschaft, die nun massiv vom Staat gefördert wurde. Bestes Beispiel für die Frucht dieser wissenschaftlichen Anstrengungen während des Krieges ist die Grundlagenforschung im nuklearen Bereich, welche schließlich zur Zündung der Atombombe und zur Entwicklung von Kernkraftwerken führte. Nach dem Krieg sollte Bush dafür sorgen, dass die staatliche Förderung der Wissenschaft fortgeführt wird. Dies war einer der Gründe für die Erstellung des oben genannten Berichtes durch Bush. Nach dem Zweiten Weltkrieg, so Stokes, setzte sich das Dogma der angewandten Forschung, die auf der Grundlagenforschung fußt, schließlich durch (Stokes, 1997, S. 45-50).

Jedoch finden sich bereits in den 60er Jahren interessante Untersuchungen, die über dieses Dogma diskutierten. Zunächst wurde 1966 eine Studie der amerikanischen Streitkräfte mit dem Titel „Project Hindsight“ veröffentlicht. Die Studie beschäftigt sich mit der Frage, welche Rolle die Forschung vom Ende des Zweiten Weltkrieges bis zum Jahr 1962 in der Entwicklung von Waffensystemen gespielt hat. Als Motivation für die Studie nennen die Autoren die fragliche Notwendigkeit der großen Summen, welche vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium für die Forschung ausgegeben werden (ca. 300 bis 400 Millionen Dollar pro Jahr, davon geschätzte 25% für Grundlagen- und 75% für angewandte Forschung). Wäre es nicht möglich gewesen, sich stattdessen nur auf Forschung aus dem privaten Sektor zu verlassen? In der Studie werden sogenannte „Events“ definiert. Dabei handelt es sich um von Experten identifizierte Ereignisse, die zu Fortschritten in der Forschung und Technologie geführt haben. Diese „Events“ werden unterschieden in „Technology Events“ und „Science Events“, wobei letztere noch einmal in „Undirected Science“ und „Applied or Directed Science“ eingeteilt werden. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass nur rund 0,3 % aller untersuchten Events (insgesamt 710) in die Kategorie „Undirected Science“ fallen. Dies ist aber gerade jene Kategorie, die nach Vannevar Bush die Grundlage für jegliche Art von angewandter Forschung darstellt. Weitere 8,7 % fallen in die Kategorie „Directed or Applied Science“, und die übrigen 91 % sind „Technology Events“, die mit konkreten technischen Problemen zusammenhängen. Nach Meinung der Autoren bedeutet

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

dies, dass Grundlagenforschung eine klare Mission braucht und nicht einfach „undirected“ sein darf. Gäbe es eine solche Mission, wäre das aber keine Grundlagenforschung mehr, sondern angewandte Forschung. Und um einen Bedarf zu definieren, werden Fachleute gebraucht, die sich mit den bereits existierenden Waffensystemen auskennen. Dies führt nach Ansicht der Autoren dazu, dass Grundlagenforschung außerhalb der Rüstungsforschung kaum zu neuen Waffensystemen führen kann. Seltene Ausnahmen werden gesehen, wenn ein möglicher Dual-Use vorliegt. Damit ist eine Nutzung im zivilen wie im militärischen Sektor gemeint (die Autoren nennen als Beispiel neue Aluminiumbehälter, welche sowohl für Bierfässer, als auch für Raketentanks benutzt werden können). Ein weiteres Ergebnis der Studie war, dass neue Waffensysteme fast durchgängig nicht auf einer bahnbrechenden Erfindung beruhen, sondern auf vielen kleinen Innovationen oder „Events“, die im Laufe der Entwicklung gemacht wurden. Dies erklärt nach Ansicht der Autoren auch wieso „Undirected Science“ kaum zu neuen Waffensystemen beigetragen hat. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine neue Erfindung zufällig gemacht wird und genau in die Entwicklung eines neuen Waffensystems passt, ist zu niedrig. Die Autoren der Studie, Sherwin u. Isenson, wollten der Grundlagenforschung mit ihrer Studie nicht ihre Existenzberechtigung absprechen. Sie stellten fest, dass hinter fast allen „Technology Events“ Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung stecken (sie erwähnten zum Beispiel Newton’s Gesetze, Maxwell’s Gleichungen etc.). Aus dieser Erkenntnis zogen sie den Schluss, dass Grundlagenforschung zwar gebraucht wird, ihr Einfluss sich jedoch erst nach einem Zeitraum von ca. 50 Jahren oder mehr bemerkbar macht. Damit stand dem Anteil des Geldes, welches in die Grundlagenforschung floss ein sehr kleiner Anteil an den untersuchten „Events“ gegenüber. Für den Rüstungsbereich bedeutete dies, dass der Anteil der Grundlagenforschung an der Entwicklung neuer Waffensysteme vernachlässigbar war. Der Ansicht der Autoren nach sollten Forscher aus der Grundlagenforschung ihre Arbeit klarer und bedarfsorientierter ausrichten (Sherwin u. Isenson, 1967).

Diese Studie konnte von der wissenschaftlichen Gemeinschaft nicht ignoriert werden, da sie die Förderung der Grundlagenforschung durch den Staat teilweise in Frage stellte. Die National Science Foundation (NSF), welche in den USA große Mengen an Fördergeldern für die Grundlagenforschung verteilt, gab eine Studie in Auftrag, welche die Ergebnisse der „Project Hindsight“-Studie relativieren sollte (inzwischen fördert die NSF auch Forschung im Bereich der Ingenieurwissenschaften, siehe Stokes, 1997, S. 124). Die Ergebnisse der Studie „Technology in Retrospect and Critical Events in Science“, kurz „TRACES“ genannt, ergänzen die Ergebnisse des „Project Hindsight“. In der Studie wurden fünf Techno-

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

logien untersucht, die ihren Ursprung eindeutig in der Grundlagenforschung haben. Diese Beispiele waren der Videorekorder, Empfängnisverhütungsmittel, Elektronenmikroskope, magnetische Ferrite (diese werden in der Elektrotechnik eingesetzt) und Matrixdämmung (zitiert in TRACES, 1968, S. 56). Die Tatsache, dass diese Technologien ihren Ursprung in Entdeckungen der Grundlagenforschung haben widerspricht jedoch nicht dem Ergebnis von „Project Hindsight“. Es bestätigt nur die bereits bekannte Möglichkeit, dass Technologien sich aus der Grundlagenforschung entwickeln können, dies aber keineswegs immer tun.

Beide Studien, so Stokes, gehen von dem Paradigma des linearen Modells aus (siehe Abbildung 4.3). Während „Project Hindsight“ betont, dass für die Entwicklung neuer Waffensysteme nur jenes Segment des linearen Modells wichtig ist, das sich im Bereich „Entwicklung“ und „Produktion und Inbetriebnahme“ befindet, betont die Studie der National Science Foundation, dass Technologien sich aus der Grundlagenforschung ergeben. Beide Studien erwähnen nicht die Möglichkeit, dass technologische Fortschritte auch zu neuen Aktivitäten im Bereich der Grundlagenforschung führen können (Siehe Stokes, 1997, S. 56 und Brooks, 1994 für Beispiele neuer Erfindungen, die zu Fortschritten in der Grundlagenforschung führten). Eine ähnliche Studie für den Bereich der Herzkreislauf- und Lungenmedizin (Julius H. Comroe u. Dripps, 1976), welche bereits weiter oben vorgestellt wurde (siehe Kapitel 4.1), führte zu einem Resultat, das zwischen „TRACES“ und „Project Hindsight“ liegt. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass für den medizinischen Fortschritt sowohl Grundlagen- als auch angewandte Forschung nötig sind: ca. 37% der von ihnen untersuchten Artikel stammen aus der Kategorie „Basic: not clinically oriented“ während ca. 40% aus den Kategorien „Basic: clinically oriented“, „Development: research“ und „Development: clinical“ stammen. Die Kategorie „Basic: clinically oriented“ wurde zwar mit dem Zusatz „Basic“ versehen, die Autoren definierten die Artikel, welche in diese Kategorie fielen aber so, dass ein klarer Bezug zu einer konkreten Anwendung besteht (Julius H. Comroe u. Dripps, 1976, S. 109): „[...] clinical relationship was obvious when the investigator studied [...] mechanisms of disease in patients [...]“. Die beiden „Development“-Kategorien beinhalten Artikel, welche von der Entwicklung von Instrumenten für die Forschung beziehungsweise die klinische Medizin handeln. Der Diskussion um die gegenseitige Beeinflussung von Grundlagen- und angewandter Forschung ähnlich ist die Frage, inwiefern die öffentliche Förderung von Wissenschaft zu mehr Arbeitsplätzen und ökonomischen Erträgen führt („Return on investment“). Einen Überblick über die wissenschaftlichen Studien zu diesem Thema liefern Salter u. Martin (2001). Ein aktueller Artikel von Macilwain (2010) zeigt, dass diese Diskussion weiterhin geführt und nicht abgeschlossen ist.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Neben Stokes existieren noch weitere Forscher, die das lineare Modell kritisieren und beschreiben (siehe zum Beispiel Freeman, 1996). Auch in der Patentometrie wurden Hinweise gefunden, die andeuten, dass das lineare Modell nicht der Realität entspricht. So berichtet Meyer (2000b), dass eine Patenzitation zeigen kann, dass Wissen sowohl von dem Bereich der Wissenschaft in den Bereich der Entwicklung fließen kann, als auch zurück (siehe Kapitel 4.2.3). Am deutlichsten formuliert Rosenberg (1991, S. 335) seine Meinung:

„Everyone knows that the linear model of innovation is dead. [...] It was a model that, however flattering it may have been to the scientist and the academic, was economically naive and simplistic in the extreme.“

Stokes (1997, S. 84), der Rosenberg ebenfalls zitiert, räumt dagegen aber ein, dass das Modell noch häufig bei forschungspolitischen Entscheidungsträgern und in der breiten Öffentlichkeit benutzt wird.

Einen Versuch das lineare Modell zu verteidigen, unternehmen Balconi u. a. (2010) in einem Essay, in welchem sie darauf hinweisen, dass ein Großteil der Kritik am linearen Modell ihrer Meinung nach unberechtigt ist. Sie unterscheiden erstmals zwischen einer „harten“ („strong“) und einer „weichen“ („weak“) Variante dieses Modells. Das harte Modell entspricht dabei dem weiter oben beschriebenen Modell, das auch Stokes in seiner Schrift kritisiert. Die Autoren identifizieren fünf Kritikpunkte des linearen Modells (Balconi u. a., 2010, S. 11):

1. „The role of basic research as contrasted to other sources of innovation.“
2. „The sequentiality of the process.“
3. „The absence of frictions and bottlenecks in the flows of knowledge.“
4. „The lack of interactions among the activities involved in the innovative process.“
5. „The assumption that interactions between the sequential phases of the innovative process do not imply self-reinforcing mechanisms.“

Die bisher geäußerte Kritik ist nach Ansicht der Autoren bei der harten Version des linearen Modells gerechtfertigt, da sie nur einen Teil eines komplexen Prozesses widerspiegelt. Zur Verteidigung des linearen Modells ziehen sie daher die weiche Version des linearen Modells heran. Da es die Aufgabe jedes Modells ist eine komplexe Wirklichkeit zu vereinfachen, ist das lineare Modell zunächst ein Versuch, die Komplexität des Innovationsprozesses

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

vereinfachend darzustellen. Die harte Variante des Modells stellt dabei eine extreme Vereinfachung der Realität dar. Das andere Extrem wäre den Autoren nach ein Modell, das die Akteure und Prozesse des Innovationsprozesses identifiziert und davon ausgeht, dass alles von allem abhängt. Ein solches Modell verliert in diesem Fall seinen Sinn, da kein weiterer Erkenntnisgewinn daraus gezogen werden kann. Die Autoren sind der Meinung, dass viele Kritikpunkte in eine weiche Version des linearen Modells eingearbeitet werden können, so dass die grundsätzlichen Aussagen bestehen bleiben. Sie weisen noch darauf hin, dass die harte Variante des linearen Modells in den USA der 70er Jahre nach Meinung einiger Autoren durchaus in der Realität vorkam. Dies deckt sich auch mit den Aussagen von Stokes (siehe in diesem Kapitel weiter oben), der zwar die Probleme des Paradigmas des linearen Modells erkannt hat, aber auch weiß, dass das Modell die Realität in bestimmten Fällen zutreffend darstellen kann. Das harte lineare Modell beschreibt in der Tat Teile des Innovationsprozesses korrekt. Eine Innovation kann eine angegebene Folge durchlaufen, muss dies aber nicht zwingend. Methoden des Projektmanagements, so die Autoren, können ebenfalls auf sequentiellen, linearen Prozessabläufen aufbauen, bei denen beim Aufstellen eines Projektplanes vorher bereits klar ist, dass nicht alle Arbeitsschritte so hintereinander ablaufen werden wie ursprünglich geplant (siehe zum Beispiel Cronenbroeck, 2004, S. 15-19). Es ist naheliegend, dass bei Forschungsprojekten ähnliches geschehen kann. Ein weiteres zentrales Argument von Balconi u. a. (2010, S. 11) für das lineare Modell beruht auf der Tatsache, dass sich Zeit nicht zurückdrehen lässt. Jegliche Interaktion von Akteuren innerhalb eines Modells des Innovationsprozesses ist zeitlich linear. Dieses Argument erscheint mir jedoch trivial und eignet sich nur bedingt dazu, das lineare Modell, in welcher Ausprägung auch immer, zu verteidigen. Genauso trivial ist ein weiterer Vorschlag, die Kategorien „Grundlagenforschung“ und „Angewandte Forschung“ einfach zusammenzufassen, um das lineare Modell zu vereinfachen. Die problematische Abgrenzung dieser beiden Forschungstypen sowie ihre Interaktionen würde dann nicht mehr existieren. Eine weitere Möglichkeit das lineare Modell zu verbessern wird darin gesehen die Tatsache, dass die Wissenschaft an sich zwar nicht immer die Entwicklung von Technologien ermöglicht, aber dass die Wissenschaft dennoch ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung von Technologien sein kann, anzuerkennen. Dies gilt vor allem in Technologiebereichen, die eine starke Bindung an die Wissenschaft haben wie die Biotechnologie (damit wären die Kritikpunkte 1 bis 3 integriert). Interaktionsprozesse und ihre gegenseitig verstärkende Wirkung auf die Akteure innerhalb des linearen Modells fehlen aus Sicht der Autoren nicht, da sie die sequentielle Natur eines linearen Modells nicht gleichsetzen mit fehlender Interaktion. Sie meinen, dass

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

durchaus verschiedene Akteure und Prozesse miteinander agieren können, auch wenn oder gerade weil sie aufeinander aufbauen (Kritikpunkte 4 und 5) (Balconi u. a., 2010, S. 6-8).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine weiche Version des linearen Modells die Komplexität des Innovationsprozesses sicherlich besser darstellt. Sie tut dies aber auf Kosten der Genauigkeit des Modells. Die Autoren des Essays identifizieren jedoch einige Punkte, die Gültigkeit besitzen. Ein zentraler Aspekt des linearen Modells ist, dass die Grundlagenforschung der Anfang jedes Innovationsprozesses ist. Es ist aber genauso legitim dies aufzuweichen und dann davon auszugehen, dass die Grundlagenforschung nur in bestimmten Fällen der Anfang ist. Von Fall zu Fall lässt sich auch ein anderes Feld an den Anfang eines Innovationsprozesses setzen, denn der lineare Ablauf vieler Forschungsprozesse ist unbestritten. Stokes Kritik an der von den Autoren so bezeichneten „harten“ Version des linearen Modells, bleibt davon unberührt. Im Gegenteil, sie selbst kritisieren einige Aspekte dieser Version.

Nach seinen Hinweisen, dass das lineare Modell des Technologie Transfers beziehungsweise des Innovationsprozesses sowie das Paradigma der Trennung von Grundlagen- und angewandter Forschung Schwächen aufweist, schlägt Stokes eigene Alternativen vor. Zunächst beschreibt er frühe Versuche von anderen, Bushs Paradigma der Trennung von Grundlagen- und angewandter Forschung zu widerlegen beziehungsweise zu erweitern. Ein früher Widerspruch stammt von James B. Conant, der als erster Direktor der National Science Foundation vorgeschlagen wurde, diese Position aber ablehnte. Im Vorwort des ersten Jahresberichts der National Science Foundation sagt er (zitiert bei: Stokes, 1997, S. 59):

„No one can draw a sharp line between basic and applied research [...] I venture to suggest that we might do well to discard altogether the phrases 'applied research' and 'fundamental research'. In their place I should put the words 'programmatic research' and 'uncommitted research' [...]“

Conant macht diesen Unterschied, weil seiner Meinung nach eine klare Grenze gezogen werden kann zwischen Forschung, die ein klares Ziel verfolgt und jener, die kein Ziel verfolgt. Er ergänzt, dass fast alles was zu seiner Zeit als angewandte Forschung betrachtet wurde zu „programmatic research“ zählt, aber auch nicht alles. In den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde die National Science Foundation von der Politik verpflichtet, mindestens 60% ihrer Fördergelder an Projekte zu vergeben, die sich an klaren gesellschaftlichen Bedürfnissen orientierten. Mit anderen Worten, die National Science Foundation sollte

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

den Großteil ihres Geldes an Forschung vergeben, welche ein klares Ziel verfolgte, also im weitesten Sinne angewandt war (Stokes, 1997, S. 93).

Stokes stellt weitere Vorschläge verschiedener Autoren vor wie sich Forschung in verschiedene Kategorien einteilen lässt, zum Beispiel in „purposive basic research“, „'free' research“ oder „'mission-related' research“. Die letzten beiden Kategorien wurden von Alan T. Waterman, dem ersten Direktor der National Science Foundation, eingeführt (Stokes, 1997, S.60-62) und vom Wissenschaftler Harvey Brooks erweitert. Brooks beschreibt ein zentrales Problem bei der Aufteilung von Forschung, indem er darauf hinweist, dass Forschung zwar von dem forschenden Wissenschaftler durchaus als grundlagenorientiert, von dem Geldgeber der Forschung (dies können Ministerien, Firmen, internationale Organisationen etc. sein) aber als angewandt betrachtet werden kann (Brooks, 1967, S. 1706). Aus ähnlichen Beweggründen formulierte bereits Reagan (1967), dass es möglicherweise sinnvoller wäre nicht zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung, sondern zwischen Forschung und Entwicklung zu unterscheiden. Es geht also nicht nur um die Frage wie man kategorisiert, sondern auch darum, wer die Kategorisierung vornimmt, und aus welcher Perspektive sie stattfindet. Ein Forschungsfeld kann in einem Labor einer Universität und gleichzeitig in einem Labor eines Unternehmens bearbeitet werden. In dem einen Fall könnte es sich um Grundlagenforschung, in dem anderen um angewandte Forschung handeln, weil möglicherweise ein Kundeninteresse vorhanden ist. Außerdem ist es möglich, dass gewisse Forschungsbereiche nur solange zur Grundlagenforschung gehören, bis eine wichtige Entdeckung in einem anderen Bereich der Wissenschaft gemacht wird. Als Beispiel nennt Brooks einen Teil der Halbleiterforschung. Diese wurde bis zur Erfindung des Transistors der Grundlagenforschung zugerechnet, danach der angewandten Forschung (Brooks, 1967, S. 1706). Ein weiteres Argument dafür, Grundlagen- und angewandte Forschung nicht scharf zu trennen, sondern als komplementär zu betrachten sind, liefern Technologien und Forschungsgebiete, die multidisziplinär sind, also von mehreren Disziplinen erforscht werden (Stokes, 1997, S. 68). Die zentrale Aussage von Brooks, die Stokes in seine Argumentation übernimmt, ist folgende (Brooks, 1967, S. 1706):

„[...] the terms basic and applied are [...] not opposites. Work directed toward applied goals can be highly fundamental in character in that it has an important impact on the conceptual structure or outlook of a field. Moreover, the fact that research is of such a nature that it can be applied does not mean that it is not also basic.“

Als Beispiel dafür, dass Forschung sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientiert

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

sein kann nennt Brooks im Folgenden, und damit sind wir wieder beim Titellieferanten für Stokes Buch („Pasteur’s Quadrant“), die Forschung von Louis Pasteur (an anderer Stelle wurde bereits beschrieben wieso auch Stokes Pasteur als Beispiel übernimmt).

Kommen wir nun zu Stokes Verbesserungsvorschlägen für Bushs Paradigma der Trennung von Grundlagen- und angewandter Forschung. Er geht zunächst vom einfachen Modell (siehe Abbildung 4.2) aus und nimmt Pasteur als Beispiel für eine Kategorisierung innerhalb dieses Modells. Pasteurs Forschungen hatten sowohl einen grundlagenorientierten- als auch einen anwendungsorientierten Anteil. Wo sollte man ihn also einordnen? Stellt die linke Seite der Skala den Bereich der Grundlagenforschung dar und die rechte den Bereich der Anwendungsforschung, dann könnte man Pasteur genau in der Mitte einordnen (siehe Abbildung 4.5). Eine weitere Möglichkeit wäre, ihn durch zwei Pfeile abzubilden, einmal links und einmal rechts auf der Skala. Der schwarze Pfeil kennzeichnet Louis Pasteur als Forscher zwischen der Grundlagen- und angewandten Forschung, die beiden roten Pfeile ordnen ihn beiden Forschungsbereichen zu. Nach Stokes sind beide Einordnungen nicht präzise genug, da die erste nicht eindeutig und die zweite eine zweidimensionale Einordnung auf einer eindimensionalen Linie darstellt. Sein Ansatz erweitert das lineare Modell um eine zweite Dimension, indem die Skala auf der linken Hälfte „hochgeklappt“ wird.

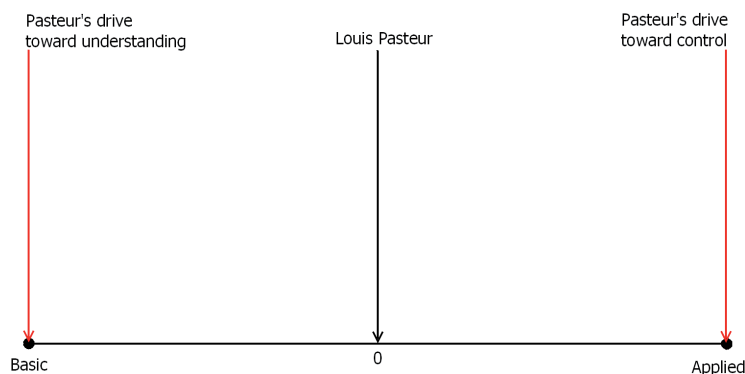


Abbildung 4.5: Mögliche Einordnung des Forschers Louis Pasteur in das einfache Modell des Verhältnisses zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung. Der schwarze Pfeil ordnet Pasteur zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung ein. Die roten Pfeile ordnen ihn beiden Forschungsbereichen zu (Abbildung basiert auf: (Stokes, 1997, S. 71-72)).

Damit ergibt sich ein zweidimensionales Koordinatensystem, auf dessen X-Achse die Frage nach der Grundlagenorientierung und auf der Y-Achse jene nach der Anwendungsorientierung aufgetragen sind. Innerhalb dieses Koordinatensystems teilt Stokes vier sogenannte „Quadranten“ ein. Wenn die Frage nach der Anwendungsorientierung eines Forschers mit

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

„Ja“ beantwortet wird, die nach der Grundlagenorientierung aber mit „Nein“ dann würde man diesen Forscher in „Edisons Quadranten“ einordnen, benannt nach dem Erfinder der Glühbirne. Handelt es sich dagegen um einen Forscher, der grundlagenorientiert gearbeitet hat und keine Anwendungsorientierung hatte, dann wäre dieser in „Bohrs Quadranten“ angesiedelt. Dieser Quadrant ist nach Niels Bohr benannt, dem Entdecker des Bohrschen Atommodells. Pasteur dagegen, der nach Stokes sowohl anwendungs- als auch grundlagenorientiert gearbeitet hat, würde in diesem System in „Pasteurs Quadranten“ eingeordnet werden, da auf beide Fragen mit „Ja“ geantwortet wird. Passenderweise hat Pasteur (1871, S. 74) selbst folgendes zum Verhältnis von Grundlagen- und angewandter Forschung gesagt:

„Non, mille fois non, il n'existe pas une catégorie de sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquees. Il y a la science et les applications de la science, liées entre elles comme le fruit à l'arbre qui l'a porté.“

Für ihn gab es also keine angewandte Wissenschaft, sondern nur die Anwendung von Wissenschaft. In diesem Sinne würden Pasteurs Quadrant die Anwendung von Wissenschaft, Bohrs Quadrant die Wissenschaft und Edisons Quadrant Anwendungen darstellen. Stokes weicht diese Unterscheidung auf, die grundlegende Aussage bleibt aber gleich.

Der vierte Quadrant, unten links, wird von Stokes nicht eindeutig benannt. Er weist darauf hin, dass dieser Quadrant jedoch nicht leer ist und erwähnt ein Beispiel, wie man ihn füllen könnte. Dieses Beispiel bezieht sich auf ein Buch mit dem Titel „Peterson's Guide to the Bird's of North America“. Stokes beschreibt vage, was er sich in diesem Quadranten für eine Wissenschaft vorstellt, nämlich eine „Wissenschaft“ (er benutzt hier explizit das deutsche Wort), die sich mit bestimmten Phänomenen („particular phenomena“) beschäftigt. Der Unterschied zu Bohrs Quadranten, in welchem es um die „curiosity of the scientist about more general things,“ geht, wird damit jedoch trotzdem nicht ersichtlich (Stokes, 1997, S. 74-75). Meines Erachtens findet sich ironischerweise gerade in Vannevar Bushs Bericht eine einfache Möglichkeit, diesem Quadranten einen sinnvollen Inhalt zu geben. Bush unterteilt die Wissenschaft nämlich nicht nur in Grundlagen- und angewandte Forschung. Er führt auch die sogenannte „Background Research“ (im weiteren „Hintergrundforschung“ genannt) ein. Gemeint ist hiermit nach Bush das reine Sammeln von Daten, das Schaffen von Wissen, wie es sich in dem Erstellen topographischer Karten und Standards für Hormone, Medikamente oder Röntgenstrahltherapie, der Definition chemischer und physikalischer Konstanten, der Beschreibung von Tieren, Pflanzen und Mineralien oder ähnlichem äußert (Bush, 1960, S. 82). Auch „Peterson's Guide to the Bird's of North America“ gehört dazu.

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

In Anlehnung an Bush und Stokes wird der linke untere Quadrant also in der vorliegenden Arbeit als „Petersons Quadrant“ definiert. Die Abbildung 4.6 zeigt das Quadrantenmodell nach Stokes, welches um die Bezeichnung des vierten Quadranten erweitert wurde. Zur besseren Übersicht wurde außerdem die Bezeichnung der Achsen (und der entsprechenden Quadranten) vertauscht und verändert.

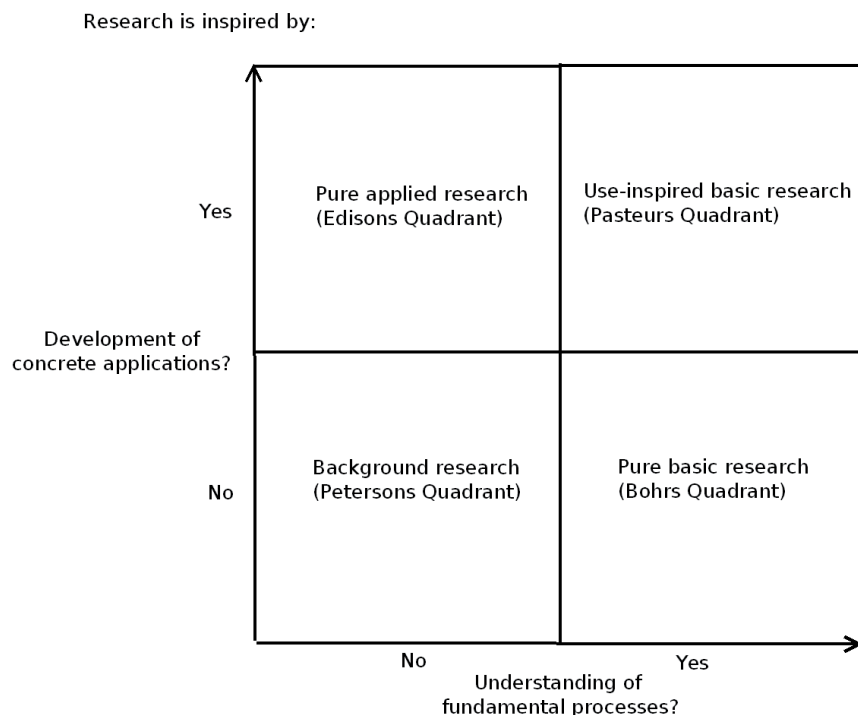


Abbildung 4.6: Quadranten-Modell der wissenschaftlichen Forschung nach Stokes (Abbildung basiert auf: Stokes, 1997, S. 73).

Stokes Modell wird auch von anderen Bibliometrikern für ihre Untersuchungen benutzt. Babaa u. a. (2009) beschäftigten sich mit der Frage, welche Wissenschaftler in Bereich der „Advanced Materials“ am besten geeignet sind, das Wissen der Universitäten mit der Praxis der Unternehmen zu verbinden. Die Wissenschaftler wurden dabei in „Pasteur-Wissenschaftler“, „Edison-Wissenschaftler“ und „Star-Wissenschaftler“ unterteilt, wobei letztere auch „Bohr-Wissenschaftler“ hätten genannt werden können. Diese Typen entsprechen den jeweiligen Quadranten in Stokes Modell. Auch die in Kapitel 4.2.2 besprochene Studie von Tijssen (2010) nutzt Stokes Modell, um zu einer neuen Klassifikation von Zeitschriften zu kommen.

Eine Alternative zu Stokes Modell, die ebenfalls die Interaktion zwischen Forschung und Technologie berücksichtigt, wird gerne als Metapher dargestellt. Bereits Toynbee (1947,

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

S. 3) sieht „Physical Science“ und „Industrialism“ als Paar, welches miteinander tanzt. Diese Metapher soll die gegenseitigen Beziehungen von Wissenschaft und Technologie (oder auch der Grundlagen- und angewandten Forschung) zeigen (siehe zum Beispiel Verbeek u. a., 2002, S. 400). Price (1965) findet, dass sich dieses Bild sehr gut eignet, um das Verhältnis zwischen Industrie und Wissenschaft zu beschreiben. Er geht außerdem davon aus, dass die beiden Tänzer männlich und weiblich sind. Damit unterscheiden sie sich auch in ihrer Arbeitsweise und in den Publikationsarten. Diese Metapher ist durchaus hilfreich, allerdings trifft sie meiner Meinung nach in einem zentralen Punkt nicht die realen Gegebenheiten: Die Tänzer sind zwei Individuen und bleiben voneinander getrennt, was der Realität und den weiter oben aufgeführten Belegen widerspricht. Gerade diese Trennung wird von Stokes mit seinem Modell aufgehoben.

Eine andere Metapher beschreibt das lineare Modell als Staffellauf, wobei die Stafette von einem Forschungsbereich zum nächsten weitergegeben wird bis man am Ziel ankommt. Das Modell wird auch als Rugbyspiel gesehen, wobei der Ball zwischen den Spielern immer wieder hin- und her gepasst wird bis man das Malfeld des Gegners erreicht hat. Diese Metapher verdeutlicht wiederum die wechselnde Interaktion zwischen Forschung und Technologie beziehungsweise Grundlagen- und angewandter Forschung, die auch Stokes erkannt hat, allerdings beziehen sich die Autoren hier lediglich auf die Produktentwicklung (Nakeuchi u. Nonaka, 1986). Der Europäische Forschungsrat (ERC) fördert Projekte im Bereich der „Pionierforschung“ („frontier research“). Dieser Begriff ist noch relativ neu und wurde vom ERC eingeführt, da „die altmodische Unterscheidung zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung [zunehmend] verwischt“. Der Begriff „Pionierforschung“ beinhaltet Forschung, welche „an und über die Grenzen des Wissens hinaus“ geht¹³.

Die Studie von Järvenpää u. a. (2011), welche in Kapitel 4.1 bereits erwähnt wurde, geht zunächst von einem linearen Modell aus, kommt dann aber zum Schluss, dass dieses Modell nur bei einigen Technologien zutrifft. Bei anderen könnten nicht-lineare Modelle die Realität besser widerspiegeln.

Es gibt noch viele weitere Alternativen und Vorschläge zu Stokes Modell. Der Vorteil von Stokes ist aber, dass er die Unterschiede zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung auf der einen Seite anerkennt, auf der anderen Seite aber auch akzeptiert, dass es Forschung gibt, die beide Formen beinhaltet („Pasteurs Quadrant“). Außerdem konnte Stokes Modell an die vorliegende bibliometrische Analyse angepasst und damit genutzt werden.

Um ein neues Kriterium für die Kategorien „Anwendungsorientiert“ und „Grundlagenori-

¹³Nachzulesen unter: <http://www3.uni-bonn.de/forschung/forschungsfoerderung/euroconsult/7.-frp/das-spezifische-programm-ideen#section-2> (abgerufen am 26. Juli 2010)

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

entiert“ einzuführen, wurde eine Befragung von Wissenschaftlern der Fraunhofer- und der Max-Planck-Gesellschaft sowie der Helmholtz-Gemeinschaft mithilfe von Stefan Reschke und Marcus John über das Internet durchgeführt. Die rein quantitative Untersuchung der Technologien und Entdeckungen sollte damit um eine qualitative Dimension erweitert werden. Dieses Vorgehen ist im Bereich der Bibliometrie und auch im Text Mining verbreitet. Die Einbeziehung von Fachleuten hilft dabei, die Anteile der quantitativen Analysen zu verbessern und zu testen. Außerdem wird die Glaubwürdigkeit und Robustheit der einzelnen Maße erhöht (Lok, 2010). Es existieren außerdem Hinweise darauf, dass Gruppen zu besseren Einschätzungen kommen als einzelne Fachleute (Surowiecki, 2004).

Es wurde abgefragt, wie die Wissenschaftler unterschiedliche Fachdisziplinen nach ihrer Orientierung einordnen würden. Konkret lauteten die Fragen folgendermaßen:

1. Geht es bei dieser Subject Area um das Verständnis fundamentaler Prozesse?
2. Geht es bei dieser Subject Area um die Entwicklung konkreter Anwendungen?

Die Teilnehmer der Umfrage hatten die Möglichkeit mit „Ja“, „Eher Ja“, „Teils – Teils“, „Eher Nein“ oder „Nein“ zu antworten. Als Klassifikation für die wissenschaftlichen Disziplinen wurden die Subject Areas des Web of Science genutzt. Die Umfrage wurde mithilfe eines online auszufüllenden Fragebogens im Zeitraum zwischen Juli 2009 und März 2010 durchgeführt. Es konnten 53 ausgefüllte Fragebögen ausgewertet werden. Ein Teil der Ergebnisse kann in Abbildung 4.7 betrachtet werden. Einige Subject Areas wurden aus der Abbildung entfernt, da sich einige Überlappungen ergaben. Zu sehen sind 67 der 168 untersuchten Subject Areas des Science Citation Index.

Schön zu sehen ist, dass die Subject Areas aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften allesamt in Edisons Quadranten oder nah an der Grenze zwischen Edisons und Pasteurs Quadranten zu finden sind (siehe Tabelle 4.5). Hier scheinen sich die Befragten einig zu sein. In Pasteurs Quadranten kommen viele Subject Areas der Medizin, zum Beispiel „Oncology“, „Critical Care Medicine“ oder „Surgery“ vor (siehe Tabelle 4.6). In Bohrs Quadranten sind zum Beispiel „Oceanography“, „Physics, Mathematical“ oder „Ornithology“ anzutreffen (siehe Tabelle 4.7). In den Tabellen sind die Subject Areas, welche sich an der Grenze zwischen zwei Quadranten befinden (also auf den entsprechenden Achsen einen Wert „0“ aufweisen) jeweils in beiden Quadranten angegeben worden. Die erste Spalte gibt den jeweiligen Wert der Antwort auf die Frage „Geht es bei dieser Subject Area um das Verständnis fundamentaler Prozesse?“, die zweite den für „Geht es bei dieser Subject Area um die Entwicklung konkreter Anwendungen?“ an. In der dritten Spalte ist die Anzahl der auf die Befragung

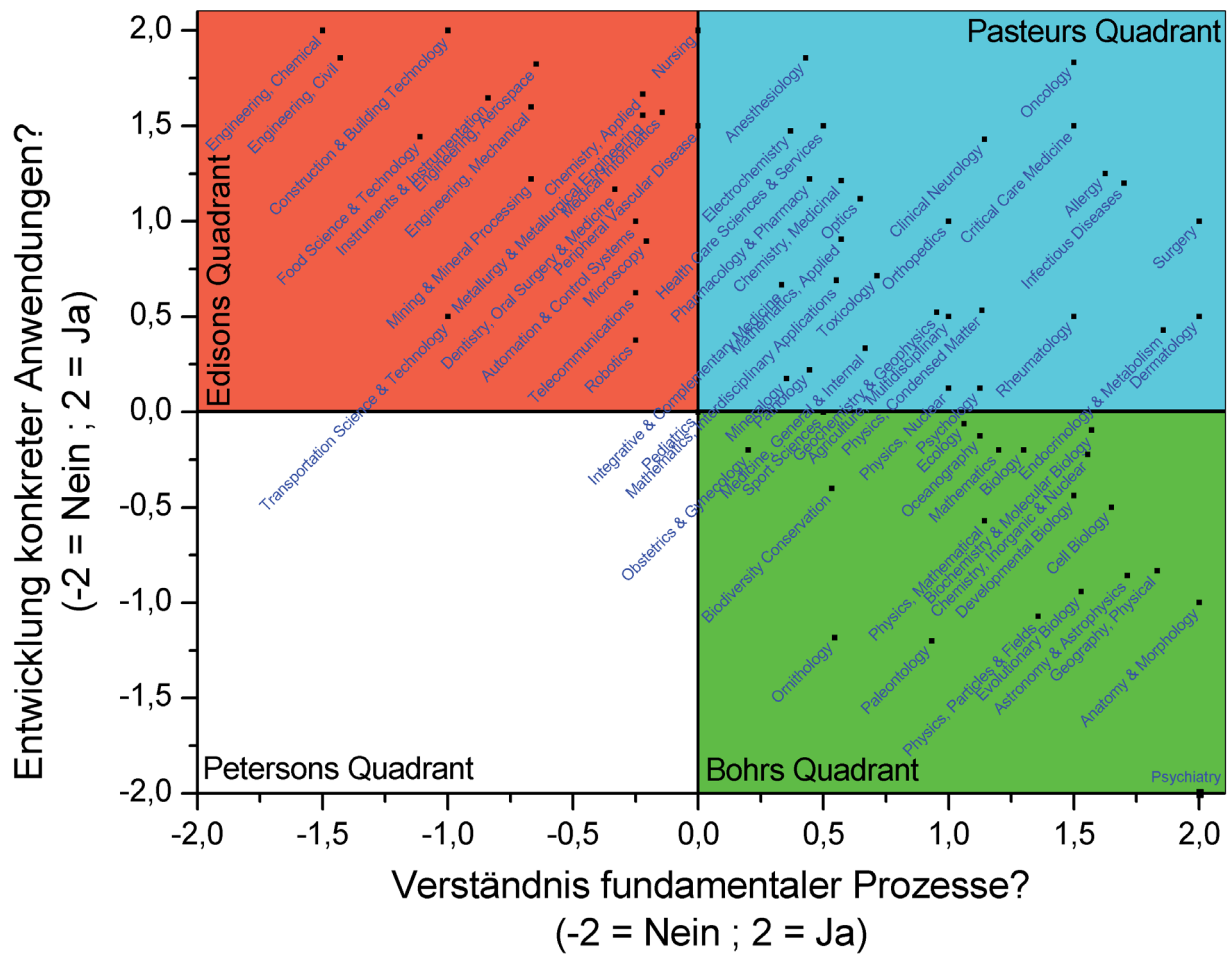


Abbildung 4.7: Experteneinteilung einiger Subject Areas des Web of Science in das Quadranten-Modell von Stokes.

abgegebenen Antworten zur jeweiligen Subject Area angegeben. In Edisons Quadranten finden sich insgesamt 49, in Pasteurs Quadranten 99 und in Bohr's Quadranten 37 Subject Areas. Die Tabellen der Subject Areas in Pasteurs und Edisons Quadranten wurden hier nur auszugsweise wiedergegeben. Die Berechnung der Werte wird in diesem Kapitel weiter unten erläutert.

Wie gut die Subject Areas für die Klassifizierung der einzelnen Zeitschriften im Web of Science geeignet sind, wurde von Leydesdorff u. Rafols (2009) untersucht (in der Studie sprechen sie durchgehend von Subject Categories). Dazu wurden Zitationen untersucht, die von den Journalen der einzelnen Subject Categories zueinander gesetzt wurden. Mithilfe dieser Informationen wurde eine Kartierung der Forschungslandschaft durchgeführt. Die Häufigkeit der Zitationen und ihr Ähnlichkeitsmaß bestimmten dabei die Struktur des

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Tabelle 4.5: Tabelle der Subject Areas in Edisons Quadranten (Auszug). FV = Fundamentales Verständnis? KA = Konkrete Anwendung?

FP?	KA?	Anzahl Antworten	Subject Area
0	1,667	3	Agricultural Economics & Policy
-1	2	4	Agricultural Engineering
-0,25	1	8	Automation & Control Systems
-0,222	1,667	9	Chemistry, Applied
-0,5	1,25	8	Computer Science, Hardware & Architecture
-0,5	1,385	26	Computer Science, Interdisciplinary Applications
-0,167	1	6	Computer Science, Software Engineering
-1	2	2	Construction & Building Technology
-0,333	1,167	6	Dentistry, Oral Surgery & Medicine
0	1,5	2	Emergency Medicine
-0,762	1,762	21	Energy & Fuels
-0,647	1,824	17	Engineering, Aerospace
-0,545	0,727	11	Engineering, Biomedical
-1,5	2	4	Engineering, Chemical
-1,429	1,857	7	Engineering, Civil
-0,222	1,889	9	Engineering, Environmental
-0,556	1,333	9	Engineering, Industrial
-0,444	1,222	9	Engineering, Manufacturing
-0,667	1,6	15	Engineering, Mechanical
-0,444	1,111	9	Engineering, Petroleum
0	0,727	11	Fisheries
-1,111	1,444	9	Food Science & Technology
-0,818	0,727	11	Horticulture
-0,227	1,455	22	Imaging Science & Photographic Technology
-0,839	1,645	31	Instruments & Instrumentation
-0,111	1,611	18	Materials Science, Ceramics
-0,235	1,294	17	Materials Science, Characterization & Testing
-0,444	1,389	18	Materials Science, Coatings & Films
-0,529	1,471	17	Materials Science, Composites
-0,833	1	6	Materials Science, Paper & Wood
-1	2	4	Materials Science, Textiles
-0,143	1,571	7	Medical Informatics
-1	2	2	Medical Laboratory Technology
-0,222	1,556	18	Metallurgy & Metallurgical Engineering
-0,207	0,897	29	Microscopy
-0,667	1,222	9	Mining & Mineral Processing
0	2	2	Nursing
0	1,143	7	Operations Research & Management Science

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Tabelle 4.6: Tabelle der Subject Areas in Pasteurs Quadranten (Auszug). FV = Fundamentales Verständnis? KA = Konkrete Anwendung?

FP?	KA?	Anzahl Antworten	Subject Area
0,214	1,286	14	Acoustics
0	1,667	3	Agricultural Economics & Policy
0,667	0,333	3	Agriculture, Dairy & Animal Science
1	0,5	4	Agriculture, Multidisciplinary
0,333	1	3	Agronomy
1,625	1,25	8	Allergy
0,429	1,857	7	Anesthesiology
0,474	0,526	19	Biochemical Research Methods
1,125	0,167	24	Biophysics
0,2	1,45	20	Biotechnology & Applied Microbiology
1,333	1,333	3	Cardiac & Cardiovascular Systems
0,75	1,25	4	Chemistry, Analytical
0,571	1,214	14	Chemistry, Medicinal
0,556	0,889	18	Chemistry, Multidisciplinary
1,312	0,688	16	Chemistry, Physical
1,143	1,429	7	Clinical Neurology
0,8	1	10	Computer Science, Artificial Intelligence
0,444	0,556	9	Computer Science, Cybernetics
0,375	1,25	8	Computer Science, Information Systems
0,625	0,375	8	Computer Science, Theory & Methods
1,5	1,5	2	Critical Care Medicine
1,1	0,35	20	Crystallography
2	0,5	2	Dermatology
0,368	1,474	19	Electrochemistry
0	1,5	2	Emergency Medicine
1,857	0,429	7	Endocrinology & Metabolism
0,125	1	8	Engineering, Electrical & Electronic
0,111	0,778	9	Engineering, Geological
0,5	1,5	4	Engineering, Marine
0,5	1	8	Engineering, Multidisciplinary
1	1,25	4	Engineering, Ocean
1	1	7	Environmental Sciences
0	0,727	11	Fisheries
0,833	1,333	6	Forestry
1,333	0	3	Gastroenterology & Hepatology
0,952	0,524	21	Geochemistry & Geophysics
1,25	1,167	12	Geriatrics & Gerontology
0,5	1,5	2	Health Care Sciences & Services

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

Tabelle 4.7: Tabelle der Subject Areas in Bohrs Quadranten. FV = Fundamentales Verständnis?
KA = Konkrete Anwendung?

FP?	KA?	Anzahl Antworten	Subject Area
2	-1	1	Anatomy & Morphology
2	-2	1	Andrology
1,714	-0,857	14	Astronomy & Astrophysics
1,368	-0,158	19	Behavioral Sciences
1,571	-0,095	21	Biochemistry & Molecular Biology
0,533	-0,4	15	Biodiversity Conservation
1,3	-0,2	20	Biology
1,65	-0,5	20	Cell Biology
1,556	-0,222	9	Chemistry, Inorganic & Nuclear
0,444	-0,111	9	Chemistry, Organic
1,5	-0,438	16	Developmental Biology
1,062	-0,062	16	Ecology
0,462	-0,231	13	Entomology
1,529	-0,941	17	Evolutionary Biology
1,333	0	3	Gastroenterology & Hepatology
1,5	-0,167	18	Genetics & Heredity
1,833	-0,833	6	Geography, Physical
1,667	-0,833	6	Geology
0,6	-0,2	20	Geosciences, Multidisciplinary
0,8	-0,2	15	Limnology
1,2	-0,2	20	Mathematics
1,643	0	14	Neurosciences
0,2	-0,2	5	Obstetrics & Gynecology
1,125	-0,125	8	Oceanography
0,545	-1,182	11	Ornithology
0,933	-1,2	15	Paleontology
0	0	5	Pediatrics
1,529	-0,353	17	Physics, Atomic, Molecular & Chemical
1,143	-0,571	14	Physics, Mathematical
1,357	-1,071	14	Physics, Particles & Fields
1,429	0	7	Physiology
0,923	0	13	Plant Sciences
2	-2	1	Psychiatry
1	0	2	Respiratory System
0,5	0	2	Sport Sciences
1	0	2	Urology & Nephrology
1,267	-0,467	15	Zoology

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Netzwerks. Zusätzlich wurde eine zweite Karte gezeichnet, in der die Subject Categories zu 14 Gruppen aggregiert wurden. Ein Ergebnis einer früheren Studie, welches sich mit dem Ergebnis dieser Studie deckt, ist, dass nach dieser Methode über 50% der Subject Categories mit den Clustern übereinstimmen, die sich aus der Zitationsanalyse ergeben. Bei der Aggregation in 14 Gruppen ist die Anzahl der korrekt positionierten Subject Categories bedeutend höher, was zu erwarten war.

Alternative Klassifikationen zu derjenigen des Web of Science wurden ebenfalls von Ralofs u. Leydesdorff (2009) untersucht und verglichen. In der Studie wird angemerkt, dass inhaltsbasierte Klassifikationen wie die Subject Categories von Thomson Reuters mit Vorsicht zu genießen sind, vor allem wenn Analysen für politische Entscheidungsträger angefertigt werden. Es wird auf den sogenannten „Indexer Effekt“ hingewiesen, der dazu führt, dass bei Klassifikationen, bei denen Indexierer inhaltlich entscheiden welche Zeitschrift in welche Kategorie kommt, die Zahl der Kategorien höher ist. Dies wird darauf zurückgeführt, dass Indexer versuchen, einer Zeitschrift möglichst alle zutreffenden Kategorien zuzuordnen und, wenn nötig, neue Kategorien anzulegen. Die Autoren machen darauf aufmerksam, dass die Subject Categories für Außenseiter nicht nachvollziehbar sind, da die genaue Methode der Einteilung nicht veröffentlicht wurde, und die Subject Categories ursprünglich als Hilfe beim Information Retrieval gedacht waren. Solche inhaltsbasierten Klassifikationen wurden in dieser Studie automatischen Klassifikationen gegenübergestellt. Bei automatischen Klassifikationen führen einzelne Algorithmen, nach denen Zeitschriften eingeteilt werden, zu weniger Kategorien mit schärferen Trennungen. Die Algorithmen analysieren das Zitationsverhalten innerhalb eines Datensatzes und errechnen die Kategorien anhand dieser Beziehungen. Im gesamten Web of Science gibt es insgesamt 220 Kategorien, die beiden automatischen Klassifikationen in dieser Studie kommen dagegen auf 88 und 114 Kategorien. Alle Klassifikationen wurden mithilfe der Zitationen innerhalb der Kategorien als Karten abgebildet, wobei der Kosinus als Ähnlichkeitsmaß genutzt wurde. Die Autoren der Studie kommen zu zwei Ergebnissen: zum einen sind die Unterschiede zwischen den Karten der Klassifikationen gering. Erklärt wird dies mit der Vermutung, dass alle Klassifikationen, egal ob automatisch oder inhaltsbasiert, bei der Einordnung der Zeitschriften Kompromisse eingehen. Ab einer gewissen Aggregationsebene (beispielsweise bei der Vereinigung von „Surgery“, „Rheumatology“ und weiterer verwandter Kategorien zur Makrokategorie „Clinical Med.“) fällt dieser Effekt jedoch nicht ins Gewicht, da bei einer falschen Einordnung die Zeitschrift zumindest in einer thematisch verwandten Kategorie auftaucht. Dies führt zum zweiten Ergebnis: die Subject Categories sind auf der Ebene der aggregierten Disziplinen

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

für Abbildungen nützlich, weil sie die Beziehungen der Kategorien untereinander auf dieser Ebene gut darstellen. Es wird aber auch darauf hingewiesen, dass eine rein zitationsbasierte Darstellung besser ist, da sie die Beziehungen der Wissenschaftler selber abbildet. Diese Studie zeigt, dass auch bei alternativen Klassifikationen, seien sie qualitativ oder quantitativ, mit ähnlichen Problemen zu kämpfen ist, da die Ergebnisse der Klassifikationen zueinander in Beziehung stehen. Aus der Studie kann aus meiner Sicht der Schluss gezogen werden, dass die Subject Categories auch für die Footprintanalyse genutzt werden können. Bei der Betrachtung der Karten, welche auf Zitationsanalysen beruhen, liegt es nahe, dass die Einteilung des Web of Science in Subject Categories verbesserungswürdig ist, es bleibt jedoch zu bedenken, dass die Probleme einer reinen Zitationsanalyse auch bei diesen Untersuchungen zutreffen. Bessere alternative Klassifikationen, die mit dem Web of Science genutzt werden können, standen zur Zeit der Entstehung dieser Arbeit nicht zur Verfügung. Wenn die Beziehungen der Kategorien untereinander mithilfe der Subject Categories auf einer höheren Aggregationsebene korrekt dargestellt werden können, dann sind auch die Übergänge des Wissens (über die Zitationen) von einer Disziplin in die andere korrekt. Ob diese Übergänge zwischen den grundlagenorientierten- und anwendungsorientierten Disziplinen stattfinden, kann dann mithilfe der Befragung der Wissenschaftler festgestellt werden. Hinzu kommt das pragmatische Argument, dass in dieser Arbeit hauptsächlich das Web of Science mit seiner Klassifikation der Subject Categories/Subject Areas genutzt wurde.

Für Scopus wird derzeit (Stand: September 2010) an einer Klassifikation gearbeitet, die auf der Methode des „Bibliographic Coupling“ (diese Methode wurde bereits in Kapitel 4.2.1 erwähnt) beruht. Die Zwischenergebnisse, welche auf der „Science and Technology Indicators Conference 2010“ mündlich präsentiert wurden, ergaben, dass diese quantitativ erstellte Klassifikation eine Schnittmenge von ca. 90% mit der Klassifikation des Web of Science hat. Diese hohe Zahl findet sich jedoch nicht im Abstract zu dem Vortrag. Dort wird lediglich festgestellt: „[...] [M]any categories in our scheme match quite well with categories in Web of Science [...]“ Diese Arbeit zeigt, dass die Diskussion über die Güte und Präzision der Web of Science Subject Areas noch nicht zu Ende diskutiert ist (Noyons u. a., 2010).

Bollen u. de Sompel (2006) untersuchten die Beziehungen einzelner Journale zueinander nicht über Zitations- und Autordaten, sondern über die Nutzungsdaten der Los Alamos National Laboratory Forschungsgemeinschaft (siehe auch Bollen u. a., 2009). Dies ist eine interessante Alternative, aber für die vorliegende Arbeit sind die genutzten Daten aus dem „Subject Category“-Feld ausreichend.

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

Pinski u. Narin (1976) schlugen schon vor Jahrzehnten eine Methode vor, die Zeitschriften nach Einfluss sortiert in eine Rangliste bringt. Hier fehlt allerdings die Dimension der Anwendbarkeit.

Mithilfe der für die vorliegende Arbeit entwickelten Methode der „Subject-Area Quadrant-Allocation“ (SAQA) konnten für jedes untersuchte Thema zwei Abbildungen erstellt werden, eine für den Zitationsdatensatz und eine für den Suchanfragedatensatz. Für jedes Jahr t im jeweiligen Datensatz wurden die in den Publikationen A angegebenen Subject Areas S ermittelt. Nun wurde für jede Publikation eines Jahres t jeweils der Quotient der Werte für die Grundlagen- ($FP_S(A)$) beziehungsweise Anwendungsorientierung ($KA_S(A)$) eines Artikels und der Anzahl der Subject Areas dieses Artikels ($N_S(A)$) berechnet. Für die Berechnung des durchschnittlichen Wertes der Grundlagenorientierung eines Artikels gilt damit:

$$\langle FP_{(A)} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{N_S(A)} FP_{S,i}(A)}{N_S(A)} \quad (4.1)$$

Entsprechend gilt für den durchschnittlichen Wert der Anwendungsorientierung eines Artikels:

$$\langle KA_{(A)} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{N_S(A)} KA_{S,i}(A)}{N_S(A)} \quad (4.2)$$

Eine einfache Aufsummierung aller FP- und KA-Werte und eine anschließendes Division durch die Gesamtzahl der Subject Areas war nicht sinnvoll, da ansonsten ein Paper mit nur einer Subject Area anders gewichtet wird als ein Paper mit mehreren Subject Areas.

Als nächstes wurden die FP- und KA-Werte jedes Artikels aufsummiert und durch die Anzahl aller Artikel des jeweiligen Jahres ($N_A(t)$) dividiert. Für die Berechnung des Mittelwertes der Grundlagenorientierung eines Themas innerhalb eines Jahres gilt:

$$\langle FP(t) \rangle = \frac{\sum_{j=1}^{N_A} \langle FP_A \rangle_j(t)}{N_A(t)} \quad (4.3)$$

Und für den Mittelwert der Anwendungsorientierung eines Themas innerhalb eines Jahres:

$$\langle KA(t) \rangle = \frac{\sum_{j=1}^{N_A} \langle KA_A \rangle_j(t)}{N_A(t)} \quad (4.4)$$

Diese Berechnung wurde mit einem von Frank Fritsche programmierten Perl-Skript

durchgeführt. Die aus dieser Rechnung erhaltenen Werte sind Durchschnittswerte. Trägt man die FP- und KA-Werte als X- und Y-Koordinaten auf, wird ersichtlich, wo sich im Stokes'schen Koordinatensystem (siehe Abbildung 4.6) ein Thema im jeweiligen Jahr befand. Deshalb wurde dieser Methode der Name „Subject-Area Quadrant-Allocation“ gegeben, da mithilfe der Subject Areas eine gezielte Einordnung in die jeweiligen Quadranten möglich ist. Von Interesse für die Analyse ist vor allem auch die Wanderung des Themas über die Jahre innerhalb des Koordinatensystems. Wandert ein Thema zum Beispiel von Bohrs Quadranten über Pasteurs Quadranten in Edisons Quadranten, dann könnte ein Thema vorliegen, das den Gesetzmäßigkeiten des linearen Modells unterliegt. Die Entwicklung dieser Bewegung ist ein Trendindikator.

4.2.7 Vergleich mit bekannten Mustern

Zuletzt werden alle Ergebnisse kombiniert, um, falls möglich und vorhanden, in den vorhergehenden Analyseschritten, Diagrammen und Daten ein Muster zu erkennen, welches bereits durch eine andere Footprintanalyse oder von anderen Forschern gefunden wurde.

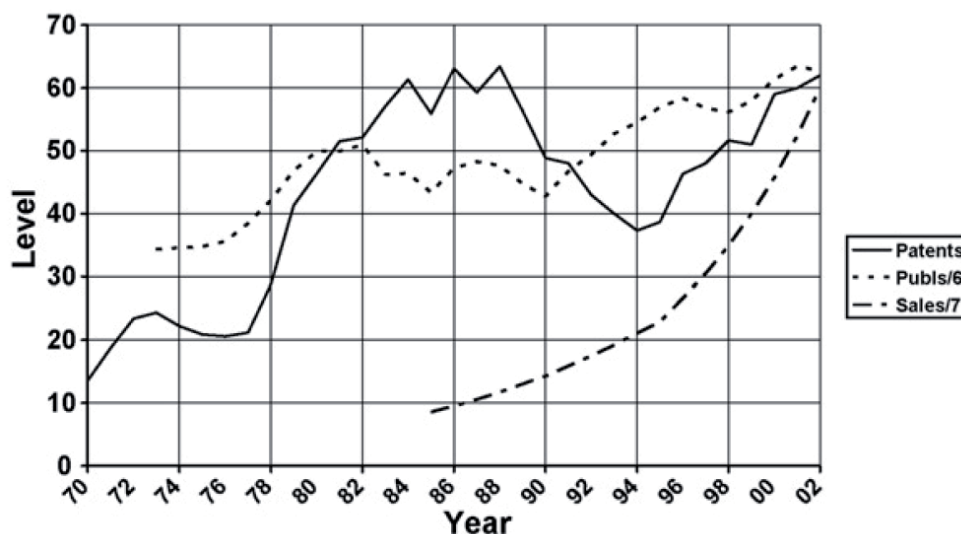


Abbildung 4.8: Double-Boom-Zyklus für das Beispiel „Immobilisierte Enzyme“. Dargestellt sind die normalisierten Zahlen der Patenterstanmeldungen für diese Technologie beim Europäischen Patentamt, wissenschaftlicher Publikationen aus dem Web of Science und der weltweiten Verkaufszahlen in Mrd. \$. (Quelle: Schmoch, 2007, S. 1008)

Für manche Technologiefelder wurde von Schmoch u. Frietsch ein typisches Muster, der sogenannte „Double-Boom-Zyklus“, entdeckt. Dieses Muster zeigt eine typische Wachs-

4.2 Datensätze und Methoden der Footprintanalyse

tumskurve bei bestimmten Technologien. Demnach wächst innerhalb eines Technologiefeldes zunächst die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen und mit wenigen Jahren Verspätung auch die Anzahl der Patente. Gleichzeitiges Wachstum sowie ein Anwachsen der Anzahl der Patente vor derjenigen der wissenschaftlichen Publikationen ist aber ebenfalls möglich. Schließlich kommt es zu einer Stagnation der Publikationen und der Patente und nach einigen Jahren wieder zu einem zweiten starken Anstieg. Schmoch u. Frietsch erklären diesen „Double-Boom“ mit einem typischen Forschungsverlauf. Eine Anfangsphase der Euphorie geht über in eine Phase der Ernüchterung, in der festgestellt wird, dass viele der Hoffnungen, die man in die neue Technologie gesetzt hat, an technologischen Hürden scheitern. Nach weiteren Jahren der Forschung und Überwindung dieser Hürden nimmt die Anzahl der Publikationen und Patente jedoch wieder zu, da das Forschungsfeld inzwischen ausgereifter und sogar schon für den Markt bereit ist (Schmoch u. Frietsch, 2006).

In einer späteren Studie fügt Schmoch (2007) den Double-Boom-Zyklen noch eine weitere Dimension hinzu: die Verkaufszahlen einer Technologie (siehe Abbildung 4.8). Das Hinzufügen von Verkaufszahlen ist in diesem Zusammenhang sinnvoll, allerdings weist Schmoch darauf hin, dass die Zahlen für die zwei von ihm untersuchten Technologien („Robotik“ und „Immobilisierte Enzyme“) nur Näherungswerte sind. Er kommt in seiner Studie zu dem Schluss, dass der erste Boom des Zyklus durch einen Science-/Technology-Push zustande kommt: Der Wachstumsdruck innerhalb des Technologiefeldes stammt zunächst von Forschern aus der wissenschaftlichen Community und von Ingenieuren aus dem angewandten Bereich. Der zweite Boom entsteht aber durch einen Pull des Marktes. Nachdem die Probleme, welche den ersten Boom haben stagnieren lassen, gelöst sind, kommt es zunehmend zu Anwendungen, die auch auf dem Markt platziert werden können. Dies führt zu weiterer Forschung und weiteren Patenten. Schmoch geht davon aus, dass Double-Boom-Zyklen vor allem bei Technologiefeldern beobachtet werden können, die besonders „science-intensive“ sind (Schmoch, 2007, S. 1006). Ob eine solche „Wissenschaftsintensität“ bei den in dieser Dissertation bearbeiteten Themen vorlag, wurde über die NPL-Zitationen des Patentdatensatzes ermittelt (siehe 4.2.3). Schmoch konnte bei 22 von 44 solcher Technologiefelder einen deutlichen Double-Boom-Zyklus finden (zum Beispiel bei „Composition of optical fibres“, „Seismology“, „Laser beam sources“ oder „Recording by optical means“). Weitere zehn Felder zeigen nach Schmoch einen schwachen Double-Boom, und bei zweien kann ein erster Boom beobachtet werden, auf den ein zweiter folgen könnte. Die übrigen zehn Felder weisen kein Double-Boom-Muster auf, sondern eine stetig zunehmende Patentierungsaktivität (Schmoch, 2007, S. 1006). Er weist außerdem darauf hin, dass die-

4 Footprintanalyse – Grundlagen und Methoden

ser Zyklus nicht völlig linear abläuft, sondern Feedback-Schleifen zwischen den und innerhalb der beiden Boom-Zyklen aufweist. Nach Schmochs Studie stammen die für den Double-Boom-Zyklus relevanten wissenschaftlichen Publikationen aus dem Bereich „oriented basic research“ oder „applied research“. Die Publikationen aus dem Bereich „pure basic research“ oder „curiosity-oriented research“ werden seiner Meinung nach sehr viel früher veröffentlicht und haben keinen direkten Einfluss auf den Zyklus. Er beschreibt in seiner Studie aber nicht, wie er diese Publikationen unterscheidet. Seinen Angaben nach wird mithilfe von Schlagwörtern im Web of Science gesucht, eine weitere Unterscheidung in grundlagen- beziehungsweise anwendungsorientierte Literatur wird offensichtlich nicht vorgenommen (Schmoch, 2007, S. 1007). Aus diesem Grunde kann der letzte beschriebene Aspekt der Double-Boom-Zyklen, nämlich dass die wissenschaftliche Literatur gänzlich aus dem anwendungsorientierten Bereich stammt, meiner Meinung nach bezweifelt werden. Der Wert der Double-Boom-Zyklen liegt in der häufigen Beobachtung dieses Musters. Fällt beispielsweise in einem bestimmten Technologiefeld die Patentierungsaktivität ab, kann zunächst analysiert werden, wie es um die wissenschaftlichen Publikationen in diesem Bereich steht. Deutet sich ein Double-Boom an, könnte eine weitere Investition in das Technologiefeld sinnvoll sein und ein übereilter Ausstieg verhindert werden. Für Firmen könnte dies einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bedeuten. Für wissenschaftliche Gesellschaften ist dieses Muster ebenfalls von Interesse, weil beim ersten Abflachen eines Themas weitere Ressourcen in die Forschung gesteckt werden könnten, die dann möglicherweise zum zweiten Boom führen. Schmoch (2007, S. 1010) empfiehlt ein solches Vorgehen für öffentlich-finanzierte Institutionen. Die bereits erwähnte Studie von Knaf u. Heubach (2008, S. 154) vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO bezieht sich ebenfalls auf dieses „Double-Boom-Muster“, weist aber auch darauf hin, dass dieses Muster meist bei „Technologien auf einem hohen Aggregationsniveau (sogenannte Makro- und Mesotechnologien)“ beobachtet wird. Die Autoren gehen aber davon aus, dass aus diesem Grund auch „(Mikro-)Technologien“ nach einem solchen Entwicklungsmuster eingeteilt werden können.

Ein weiteres Muster, das von Meyer (2000b) beschrieben wird, ist das sogenannte „Rosenberg-Muster“. Bei diesem führt die Entwicklung neuer Instrumente in der Grundlagenforschung zu einem Boom der wissenschaftlichen Aktivität, die durch diese Instrumente vereinfacht wird. Meyer ist allerdings der einzige Autor, der dieses Muster anspricht. Als Namensgeber für dieses Muster kommt vermutlich nur der Autor Nathan Rosenberg in Betracht, obwohl Meyer keinen Autor Rosenberg in seinem Artikel erwähnt oder zitiert.

Nathan Rosenberg geht in mehreren Publikationen auf die Möglichkeit ein, dass eine Entwicklung, welche ursprünglich im Bereich der angewandten Forschung angesiedelt war, zu einer Zunahme der Aktivität in der Grundlagenforschung führt (siehe Kapitel 4.2.5 und Rosenberg, 1990). Es muss sich also nicht unbedingt um die Entwicklung eines Instruments handeln, welche zu einer stärkeren Aktivität im Bereich der Grundlagenforschung führt, auch wenn Rosenberg diesen Typ von Entwicklung häufig anführt. Stokes spricht in seinem Buch ebenfalls von dem Vorhandensein eines solchen Entwicklungspfades (siehe Kapitel 4.2.6). Als Beispiele nennt Rosenberg das Elektronenmikroskop, den Teilchenbeschleuniger und die Kernspinresonanzspektroskopie. In Rosenberg (1992) spricht der Autor davon, dass diese Instrumente meist in der Grundlagenforschung der Physik entwickelt wurden und dann in anderen Disziplinen eingesetzt worden sind. Da ein Instrument aber immer einen spezifischen Zweck hat, kann seine Entwicklung durchaus als Teil der angewandten Forschung betrachtet werden. Denn die durch diese Instrumente verstärkte wissenschaftliche Aktivität in der Grundlagenforschung führt schließlich wieder zu einer stärkeren Aktivität im Bereich der Technologieentwicklung. Da aber wissenschaftliche Artikel selten Patente zitieren, ist dieses Muster nur schwer zu belegen. Die Footprintanalyse zum Thema „Scanning Tunneling Microscope“ beschäftigt sich mit diesem Muster (siehe Kapitel 5.1.3).

Eine Hypothese der Footprintanalyse beruht auf der Annahme, dass es noch weitere Muster gibt, die eine Aussage darüber zulassen, ob sich ein Forschungsfeld in Richtung Anwendbarkeit bewegt.

5 Resultate der Footprintanalyse

5.1 Evaluierung der Footprintanalyse

In diesem Kapitel soll die Footprintanalyse an Beispielen getestet und evaluiert werden. Der Sinn dieser Evaluation liegt in der Überprüfung der Plausibilität der Ergebnisse, welche die Footprintanalyse liefert. Die Beispiele sind Machbarkeitsstudien, in denen untersucht wird, wie Wissen in der Grundlagen- und der angewandten Forschung weitergegeben wurde. Entsprechend wurden Beispiele gewählt, bei denen die Entwicklung und die Einordnung in Grundlagen- und angewandte Forschung bereits vor der Analyse bekannt waren.

5.1.1 Fallstudie zum Thema „Stringtheorie“

Die Anfänge der Stringtheorie liegen in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts und bis dato sind keinerlei praktische Anwendungen bekannt. Dies müsste sich auch nach einer Footprintanalyse in den Ergebnissen ablesen lassen. Die Analyse dieses Themas dient also nicht dazu aufzuzeigen, wo sich die Anwendungen der Stringtheorie in der wissenschaftlichen Forschungslandschaft befinden, sondern sie soll überprüfen, ob die Footprintanalyse die Entwicklung und die Einordnung dieses Themas zuverlässig widerspiegelt.

Beschreibung des Genesisartikels

Für das Thema Stringtheorie gibt es mehrere Kandidaten für den Genesisartikel. In der Literatur (Brink, 2004) wird ein Artikel von 1968 genannt, der als Grundlage für die Stringtheorie diene. Allerdings beschreibt dieser die Stringtheorie nicht direkt. Dass der Artikel sich mit diesem Thema beschäftigt, wurde erst 1970 von anderen Wissenschaftlern im Nachhinein erkannt. Dieses Jahr wird im Internet als das Geburtsjahr der Stringbeziehungsweise Superstringtheorie bezeichnet, der Artikel von 1968 wird dort allerdings nicht genannt.¹ Sowohl der Artikel von 1968 als auch von 1970 wären als Genesisarti-

¹Siehe: <http://superstringtheory.com/history/history4.html> und <http://www.univie.ac.at/pluslucis/FBA/FBA99/Abart/AbschnittF.htm> (abgerufen am 7. September 2010)

5 Resultate der Footprintanalyse

kel geeignet, beide wurden bisher ausreichend häufig zitiert, nämlich 1269- und 198-mal. Allerdings existiert eine Publikation von Green u. Schwarz (1984), die als Ursprung der zweiten Stringrevolution bezeichnet wird. Dieser Artikel wurde 1760-mal zitiert (Stand: 4. August 2010). In der erwähnten Literatur herrscht Einigkeit darüber, dass dieser Artikel das Thema bedeutend vorangebracht und sehr häufig als Referenz benutzt wurde. Auch Chen (2004) zeigt in seiner Analyse von Kozitationsnetzwerken zum Thema „Superstringtheorie“, dass dieser Artikel ein früher und wichtiger Knotenpunkt ist. Aus diesen Gründen wurde der Artikel von Green u. Schwarz als Genesisartikel ausgewählt. Da der Genesisartikel 1984 veröffentlicht wurde, konnte der Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft für diese Analyse genutzt werden.

Beschreibung der Theorie

Seit jeher versucht die Disziplin der Physik durch empirische Beobachtungen Naturgesetze zu verstehen und zu beschreiben. Im 19. und 20. Jahrhundert gab es eine Reihe von Entdeckungen und Vereinheitlichungen verschiedener Gesetze und Theorien. So wurden Elektrizität und Magnetismus im 19. Jahrhundert von James Clerk Maxwell und die Prinzipien von Relativität und Gravitation im 20. Jahrhundert von Albert Einstein vereinigt. Die Stringtheorie (auch bekannt unter dem Namen „Superstringtheorie“ oder seltener „M-Theorie“)² stellt den Versuch dar, die Beschreibung aller fundamentalen Kräfte der Natur in sich zu vereinigen. Wie bereits beschrieben, gehen die Ursprünge dieser Theorie bis in die Mitte des vergangenen Jahrhunderts zurück. Die Theorie konnte bis heute nicht experimentell überprüft werden (Kiritsis, 2007).

Anwendungsmöglichkeiten

Zu diesem Thema existiert bisher keine bekannte Anwendung.

Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes

Der Zitationsdatensatz beinhaltet 1760 Publikationen (Stand: 07. September 2010), die den Genesisartikel zitieren, sowie den Genesisartikel selber.

Der Genesisartikel scheint seine Blütezeit seit den späten 80er-Jahren hinter sich zu haben (siehe Abbildung 5.1). Seit 1992 wird er relativ konstant auf niedrigem Niveau (ca. 50 Zitationen pro Jahr) zitiert.

²Siehe: <http://theory.tifr.res.in/~mukhi/Physics/string2.html> (abgerufen am 15. September 2010)

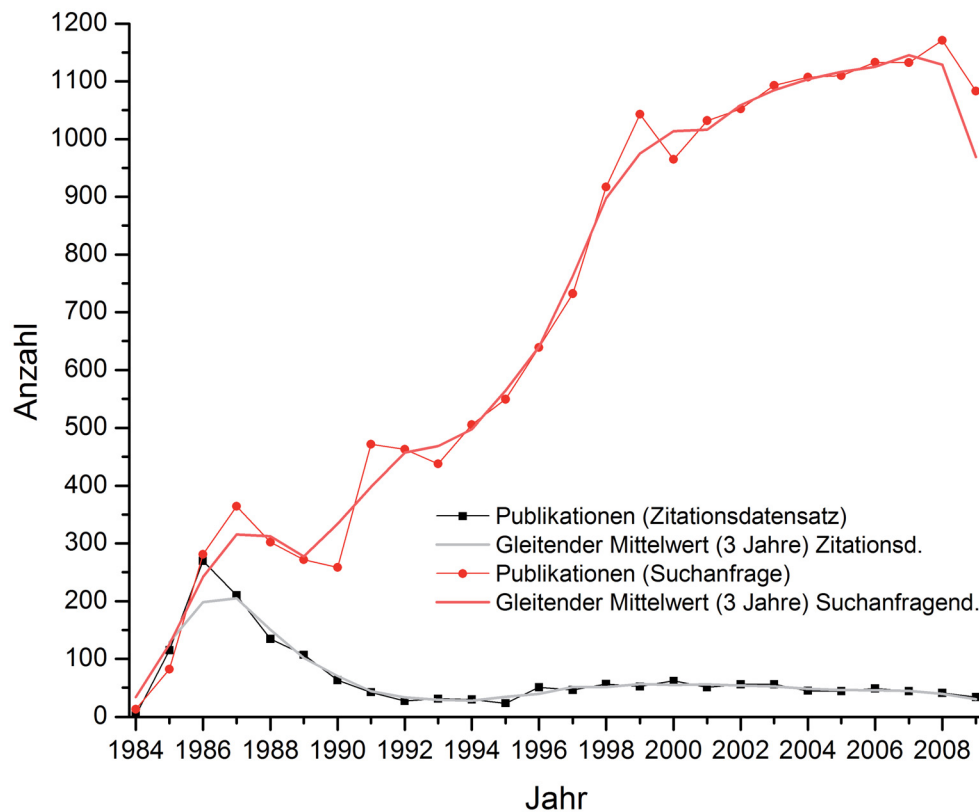


Abbildung 5.1: Überblick der Wachstumskurven für das Thema Stringtheorie. Für jede Kurve wurde außerdem der gleitende Mittelwert über 3 Jahre berechnet. Die Kurven für einen Patentdatensatz wurden nicht gezeichnet, da keiner erstellt wurde.

Schlagwortanalyse

Tabelle 5.1 zeigt die Keywords des Themas Stringtheorie, sortiert nach der Häufigkeit (nach dem Stemming). Es fällt auf, dass naturgemäß die Begriffe „Superstring“ und „String“ sehr häufig vorkommen. Aber auch „M-Theory“, ein alternativer Name für die Stringtheorie, wird genannt. „Supergravity“ und „Supersymmetry“ werden ebenfalls häufig angegeben, allein oder zusammen mit weiteren Begriffen.

Bibliometrische Patentanalyse

Für den Patentdatensatz wurde gemeinsam mit einem Materialwissenschaftler und einer theoretischen Physikerin folgende Suchanfrage erstellt:

ts="superstring*" OR ts="M-theory" OR ts="M-theories" OR ts="string theor*" OR ts="string field theor*"

5 Resultate der Footprintanalyse

Tabelle 5.1: Tabelle der Schlagwörter für das Thema Stringtheorie

Rang	Schlagwort (nach Stemming)	Anzahl der Nennungen
1	superstr and heterot string	35
2	d brane	29
3	anomali in field and string theori	26
4	superstr vacua	23
5	supergrav model	22
6	supersymmetri break	19
7	m theori	17
8	supersymmetri	16
9	anomali	14
10	supergrav	14
11	field theori in higher dimens	13
12	string theori	12
13	orbifold	10
14	orientifold	10
15	compactif and string model	9
16	string dualiti	9
17	flux compactif	8
18	string	8
19	unif	8
20	compactif	7
21	dualiti	7
22	gut	7
23	heterot string	7
24	superstr	7
25	supersymmetr effect theori	7
26	beyond standard model	6
27	gaug symmetri	6
28	gaug theori	6
29	brane dynam in gaug theori	5
30	conform field model in string theori	5
31	f theori	5
32	inflat	5
33	moduli stabil	5
34	standard model	5
35	superstr theori	5
36	supersymmetr standard model	5
37	supersymmetri phenomenologi	5
38	n expans	4
39	cosmologi of theori beyond the sm	4
40	extra dimens	4

Hiermit wurden lediglich vier Patente im Derwent Innovations Index gefunden. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da keine bekannte Anwendung für die Stringtheorie existiert. Die vier Patente beschäftigen sich mit zukünftigen Kommunikationstechnologien, die teilweise auf Erkenntnissen der Stringtheorie basieren sollen.

Eine Wachstumskurve für den Patentdatensatz wurde deshalb nicht erstellt.

Analyse der Zitationen auf die Nicht-Patent-Literatur

Aufgrund des sehr kleinen Patentdatensatzes wurden die NPL-Zitationen ebenfalls nicht näher untersucht.

Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes

Im Web of Science konnte ein großer Suchanfragedatensatz heruntergeladen werden. Zum Zeitpunkt des Downloads (29. September 2010) wurden 18907 Publikationen gefunden.

Im Vergleich zum Zitationsdatensatz kann im Suchanfragedatensatz ein starker Anstieg der Publikationen zum Thema nachgewiesen werden (siehe Abbildung 5.1). Dem starken Wachstum der Publikationszahlen bis 1999 folgt anscheinend eine Annäherung an einen Sättigungswert. Möglicherweise steht das Thema nun an einem Wendepunkt.

Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

Im Suchanfragedatensatz liegen für das Jahr 1978 zwei Paper vor, allerdings ohne Eintragung im Adressfeld. Um eine Unterbrechung im Graphen zu vermeiden, und weil in den 70er und frühen 80er Jahren die Anzahl der Publikationen meist unter 10 liegt, wurde der Graph für diesen Datensatz für die Jahre 1984 bis 2009 gezeichnet. So ist auch ein Vergleich mit den Kurven des Zitationsdatensatzes möglich, da dort der gleiche Zeitraum aufgetragen ist (siehe Abbildung 5.2).

Wie erwartet ist der Anteil der grundlagenorientierten publizierenden Institutionen am gesamten Publikationsaufkommen über alle Jahre in beiden Datensätzen sehr hoch. Beim Zitationsdatensatz liegt dieser Anteil fast durchgängig bei über 90%, nimmt aber seit 2005 leicht ab (2009 liegt dieser Wert bei 84,6%). Der Genesisartikel kommt von einer Institution, die eigentlich anwendungsorientiert ist, dem California Institute of Technology. Dies erklärt den Anteil von 100% der anwendungsorientierten Institutionen im Jahre 1984. Im Suchanfragedatensatz bietet sich ein ähnliches Bild. Dort ist der Anteil der grundlagenorientierten Institutionen allerdings ein wenig stabiler als im Zitationsdatensatz. Der Anteil

5 Resultate der Footprintanalyse

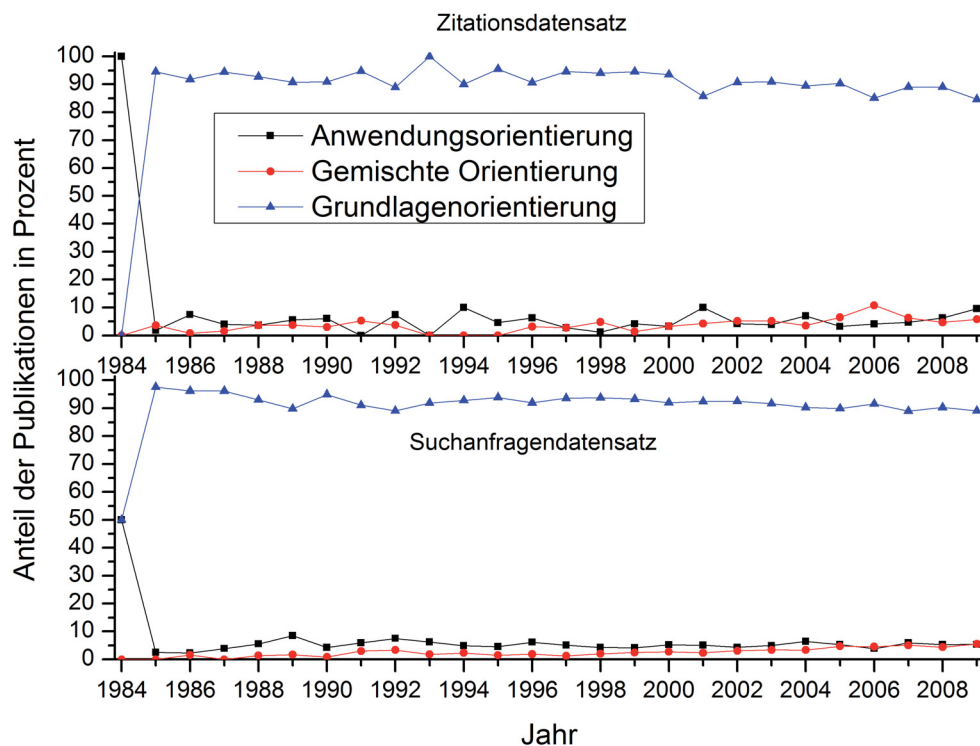


Abbildung 5.2: Zeitliche Entwicklung des Anteils am Publikationsaufkommen verschiedener Institutionstypen für das Thema Stringtheorie.

der Institutionen mit angewandter oder gemischter Orientierung ist im Gegenzug bei beiden fast durchgängig unter 10%.

Subject-Area Quadrant-Allocation

Wie erwartet befindet sich bei der Subject-Area Quadrant-Allocation (siehe Kapitel 4.2.6) fast der komplette Zitationsdatensatz in Bohrs Quadranten (siehe Abbildung 5.3). Die einzige Ausnahme stellt das Jahr 1984 dar. Für dieses Jahr konnte nur der Genesisartikel nachgewiesen werden, der aus der Subject Area „Physics, Multidisciplinary“ stammt. Dass diese Subject Area in Pasteurs Quadrant verortet wird, ist nicht verwunderlich. Die Entwicklung des Themas weist im Laufe der Jahre nur kleine Bewegungen auf. Es ist ein leichter Trend zu einer stärkeren Ausrichtung des Verständnisses fundamentaler Prozesse und eine Abschwächung der Entwicklung konkreter Anwendungen zu erkennen. Letzterer ist etwas deutlicher sichtbar, aber beide bewegen sich auf einem relativ engen Raum.

Im Suchanfragedatensatz liegen durchgängig ab dem Jahr 1976 Publikationen vor, für die auch Subject Areas erfasst sind. Aus diesem Grunde wurde die SAQA für die Jahre

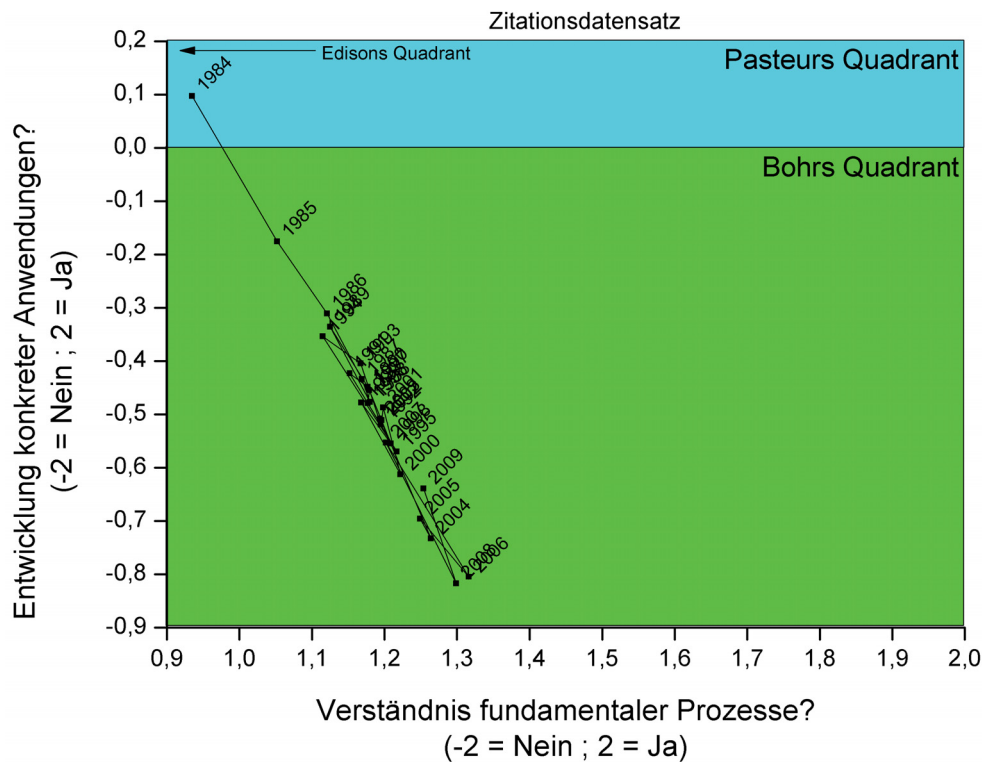


Abbildung 5.3: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Zitationsdatensatzes für das Thema Stringtheorie.

1976 bis 2009 (siehe Abbildung 5.4) erstellt. Für 1974 konnten nur zwei, für das Jahr 1975 überhaupt keine Publikationen nachgewiesen werden. Bei dieser SAQA ist der Trend nicht so klar erkennbar wie bei dem Zitationsdatensatz. 1976 und 1977 beginnt das Thema in Bohrs Quadranten, wechselt dann von 1978 bis 1980 in Pasteurs Quadranten und bleibt danach komplett in Bohrs Quadranten. Die beiden SAQAs ähneln sich darin, dass sie ab 1985 bis heute das Thema in Bohrs Quadranten einordnen. Eine Bewegung tiefer in Bohrs Quadranten hinein, die bei der SAQA des Zitationsdatensatzes beobachtet werden kann, ist beim Suchanfragedatensatz nicht zu erkennen. Hier bildet sich ein großer Cluster zwischen (1,1/-0,4) und (1,3/-0,8).

Vergleich mit bekannten Mustern

Eines der in dieser Arbeit vorgestellten bekannten Muster lässt sich in dieser Fallstudie nicht erkennen. Die Wachstumskurve des Suchanfragedatensatzes deutet daraufhin, dass das Thema möglicherweise einen Sättigungswert erreicht hat. Allerdings ist eine endgültige Aussage darüber aufgrund der relativ kurzen Zeitspanne seit Beendigung der starken

5 Resultate der Footprintanalyse

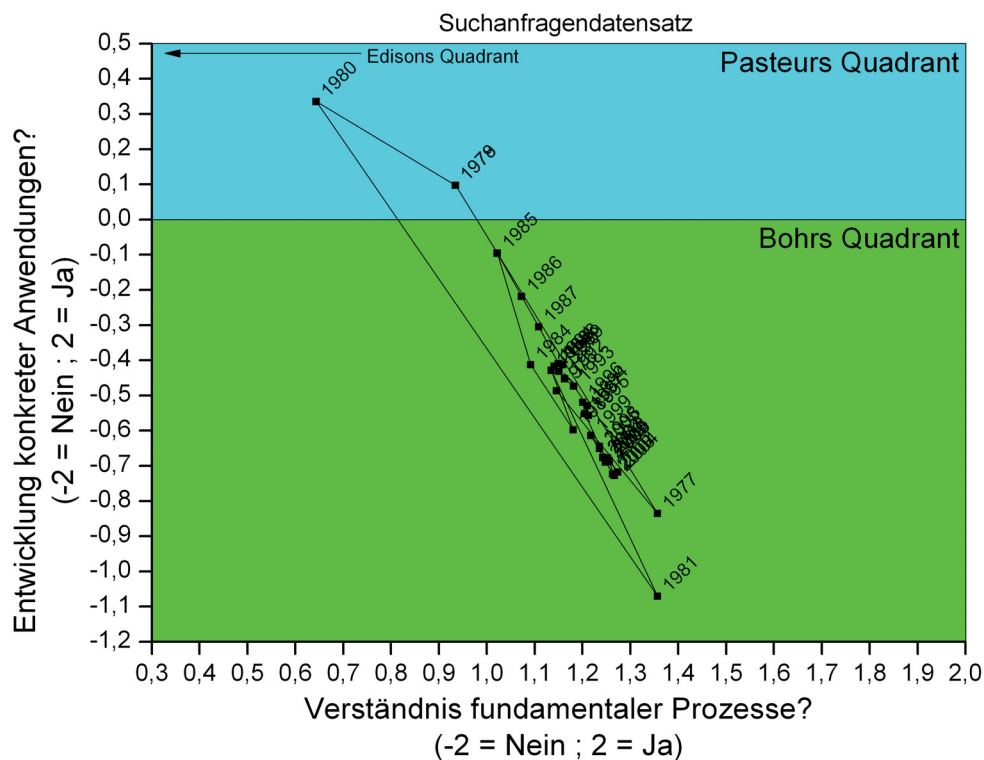


Abbildung 5.4: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Suchanfragedatensatzes für das Thema Stringtheorie.

Wachstumskurve nicht möglich.

Zusammenfassung

Die Analyse zu dem Thema Stringtheorie führt zu den vorher erwarteten Ergebnissen. Sie zeigen, dass das Thema weiterhin relevant ist, und viel dazu publiziert wird. Der Genesisartikel scheint seine ursprüngliche Bedeutung zum größten Teil eingebüßt zu haben. Das Abflachen der Wachstumskurve des Suchanfragedatensatzes zeigt, dass das Interesse an dem Thema in den letzten Jahren stagniert. Die Vermutung liegt nahe, dass dies so bleiben wird bis eine bahnbrechende Entdeckung, vielleicht ein experimenteller Nachweis der Theorie, wieder Bewegung in das Thema bringt.

Der Anteil der anwendungsorientierten Institutionen ist in beiden Datensätzen über die Jahre sehr gering und bleibt im Großen und Ganzen konstant. Hier ist in der nächsten Zukunft mit keiner Änderung zu rechnen.

Die bei der SAQA des Zitationdatensatzes beobachtete stärkere Bewegung weg von der Entwicklung konkreter Anwendungen könnte dahingehend interpretiert werden, dass das

Thema sich mehr in den Bereich der Grundlagenforschung hinein bewegt. Dies kann jedoch bei der SAQA des Suchanfragensdatensatzes nicht beobachtet werden. Die Erklärung liegt in der breiteren Streuung der Subject Areas des Suchanfragensdatensatzes. Im Zitationsdatensatz wurden Publikationen in Zeitschriften, die insgesamt nur sechs verschiedenen Subject Areas angehören veröffentlicht. Vier der Subject Areas sind aus der Physik, eine ist die Subject Area „Multidisciplinary Science“ und eine „Astronomy & Astrophysics“. Im Suchanfragensdatensatz gibt es 15 Subject Areas, also mehr als doppelt so viele als im Zitationsdatensatz. Neben den im Zitationsdatensatz vorkommenden Subject Areas finden sich dort noch vier aus dem Bereich „Computer Science“, zwei aus der Mathematik und jeweils eine aus der Materialwissenschaft und Optik. Die Publikationen sind allerdings nicht gleichmäßig auf diese Subject Areas verteilt. Der Schwerpunkt liegt auf jenen Subject Areas, die sich auch im Zitationsdatensatz befinden. Die anderen Subject Areas „Computer Science, Interdisciplinary Applications“ und „Computer Science, Software Engineering“ sind aber in Edisons Quadranten beheimatet. Aus diesen Kategorien gibt es 20 und 15 Publikationen. Die beiden weiteren Subject Areas der Mathematik sind in Pasteurs Quadranten anzutreffen. Aus diesen kommen im Suchanfragensdatensatz 198 (Mathematics) und 173 (Mathematics, Applied) Publikationen. Diese Veröffentlichungen führen zu dem, in der SAQA des Suchanfragensdatensatzes beobachteten, Cluster in Bohrs Quadranten. Somit kann gezeigt werden, dass trotz einer größeren Anzahl von Subject Areas das Thema über die Jahre trotzdem in diesem Quadranten verweilt. Das Thema wird also in den nächsten Jahren vermutlich stark in der Grundlagenforschung verhaftet bleiben.

Dieser erste Test der Footprintanalyse hat plausible Ergebnisse geliefert und kann somit als erfolgreich betrachtet werden. Dies wurde auch von Fachwissenschaftlern am Fraunhofer INT bestätigt.

5.1.2 Fallstudie zum Thema „Biodiesel“

Als nächstes soll ein Thema näher betrachtet werden, das hauptsächlich im Bereich der angewandten Forschung angesiedelt ist. Hierfür wurde die Technologie „Biodiesel“ ausgewählt. Erwartet werden Ergebnisse, die im Gegensatz zu jenen des Themas „Stringtheorie“ stehen. Ein großer Teil der Publikationen müsste von Institutionen mit Anwendungsorientierung stammen, die SAQA müsste zum größten Teil in Edisons Quadranten liegen, und die Wissenschaftsbindung des Patentdatensatzes müsste niedrig sein.

Beschreibung des Genesisartikels

Beim eigentlichen Genesisartikel für das Thema „Biodiesel“ handelt es sich nicht um eine Publikation in einer wissenschaftlichen Zeitschrift, sondern um ein Patent. Im Jahr 1937 wurde Charles Georges Chavanne ein Patent zur Umesterung von Pflanzenölen mit Ethanol und Methanol zugesprochen (Chavanne, 1937). Dies ist die erste Beschreibung der Herstellung eines Kraftstoffes, den wir heute gemeinhin „Biodiesel“ nennen. Im Web of Science finden sich acht Artikel aus den Jahren 2006 bis 2010, die dieses Patent zitieren. Damit scheidet diese Publikation als Genesisartikel aus. Einige Jahre später publizierte Chavanne (1943) in einem wissenschaftlichen Magazin und beschrieb seine Methode dort detaillierter (beide Zitatstellen werden bei Knothe u. a., 2005, S. 10 angegeben). Dieser Artikel wird allerdings nur einmal in einer Publikation aus dem Jahr 2009 zitiert. Auch spätere Kandidaten für einen Genesisartikel werden nur selten zitiert oder können im Web of Science nicht nachgewiesen werden. Aus diesem Grunde wurde bei dieser Footprintanalyse auf einen Genesisartikel sowie einen Zitationsdatensatz verzichtet.

Beschreibung der Technologie

Die hier dargelegte Beschreibung folgt im Wesentlichen Knothe u. a. (2005, S. 1-3) und stellt eine gekürzte Zusammenfassung dar. Dort finden sich auch weitere und detailliertere Beschreibungen dieser Technologie. Als Basis der Herstellung von Biodiesel dienen pflanzliche Öle oder tierische Fette. Diese werden einer chemischen Reaktion unterzogen, die „Umesterung“ genannt wird. Das pflanzliche Öl oder tierische Fett reagiert dabei mithilfe eines Katalysators mit einem Alkohol. Dieser Prozess wird durchgeführt, weil pflanzliche Öle und tierische Fette vor dieser chemischen Reaktion eine zu hohe Viskosität (Zähflüssigkeit) aufweisen. Diese kann zu Problemen bei der Verbrennung führen. Mithilfe der Umesterung wird diese Viskosität herabgesenkt. Biodiesel lässt sich aus verschiedenen Rohstoffen herstellen. Pflanzliche Rohstoffe können zum Beispiel Sojabohnen, Ölpalmen, Raps oder Erdnüsse sein. Bei den tierischen Fetten wird häufig Talg als Rohstoff verwendet. Auch Altöl, zum Beispiel gebrauchtes Frittieröl, kann als Basis für Biodiesel genutzt werden. Biodiesel lässt sich mit normalem Diesel mischen, wird dann aber nicht mehr als Biodiesel bezeichnet.

Anwendungsmöglichkeiten

Biodieselskraftstoffe stellen eine Alternative zu Kraftstoffen aus Mineralölen dar und können damit in Verbrennungsmotoren verwendet werden. Der Kraftstoff hat gegenüber normalem Diesel eine Reihe von Vorteilen. Zu nennen sind nach Knothe u. a. (2005, S. 2) beispielsweise:

- Biodiesel basiert auf nachwachsenden Rohstoffen. Damit reduziert er die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und schont die endlichen Vorräte von Mineralöl.
- Biodiesel ist biologisch abbaubar.
- Die meisten Schadstoffemissionen sind im Vergleich zu normalem Diesel geringer.

Bibliometrische Patentanalyse

Um trotz des Fehlens eines geeigneten Genesisartikels und damit eines Zitationsdatensatzes eine sinnvolle Suchanfrage erstellen zu können, wurde ein Chemiker des Fraunhofer INT zu Rate gezogen. Eine Analyse der für dieses Thema möglichen Keywords führte zu folgender einfachen Suchanfrage:

ts=biodiesel* OR ts=bio-diesel*

Eine Erweiterung der Suchanfrage um Begriffe wie „fatty acid methyl esters“ (kurz auch „FAME“ genannt) wurde wieder verworfen. Dieser Begriff wird in der Literatur zwar auch synonym mit dem Begriff „Biodiesel“ gebraucht, findet aber auch Verwendung im Bereich der Ernährungswissenschaften. Auch die Benutzung des Begriffs „Biofuel“ wurde ausgeschlossen, da damit nicht nur Biodieselskraftstoffe, sondern auch Kraftstoffe aus Biomasse oder Erdgas bezeichnet werden. Järvenpää u. a. (2011, S. 287) sind bei ihrer Untersuchung des Themas „Biodiesel“ in ihrer Suchanfrage ebenso vorgegangen. Mit der kurzen Suchanfrage konnte ein Patentdatensatz mit 2510 Patentfamilien gefunden werden.

Der Datensatz wurde stichprobenartig überprüft und für relevant erachtet. Interessanterweise findet sich die erste Patentfamilie für dieses Thema erst im Jahr 1991, obwohl die Technologie bereits 1937 entwickelt wurde.

Ein Blick auf den zeitlichen Verlauf der Patenterstanmeldungen (siehe Abbildung 5.5) zeigt, dass das Thema seit dem Jahr 2000 leicht und ab 2004 stark ansteigt. Im Jahr 2008 wurde der bisherige Höhepunkt von 535 Anmeldungen erreicht. Der starke Rückgang im Jahr 2009 lässt sich möglicherweise auf eine noch nicht vollständige Indexierung dieses Jahres im Derwent Innovations Index zurückführen.

5 Resultate der Footprintanalyse

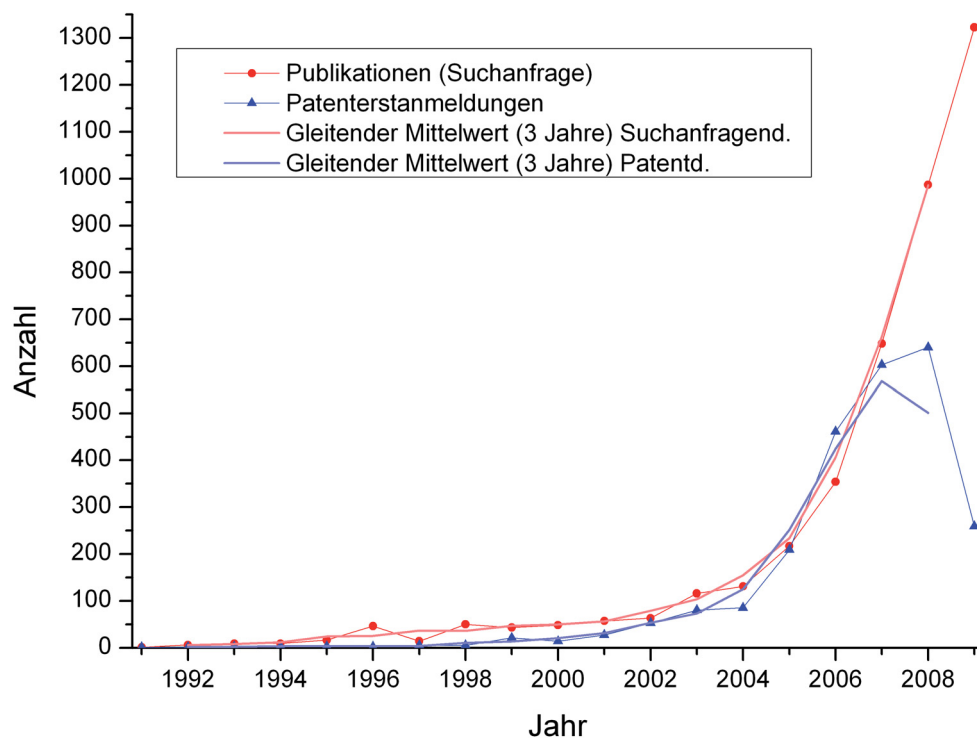


Abbildung 5.5: Überblick der Wachstumskurven für das Thema Biodiesel. Für jede Kurve wurde außerdem der gleitende Mittelwert über 3 Jahre berechnet.

Analyse der Zitationen auf die Nicht-Patent-Literatur

Bei der Analyse der NPL-Zitationen des Patentdatensatzes für das Thema „Biodiesel“ (siehe Tabelle 5.2) fällt eines gleich ins Auge: Die Science Linkage ist wie beim Thema „Autonom selbstheilende Werkstoffe“ die niedrigste aller analysierten Beispiele in der vorliegenden Arbeit. Dies passt sehr gut zu den Ergebnissen von Schmoch (1997, S. 108) (siehe Tabelle 4.4). Das Thema „Biodiesel“ lässt sich in die dortigen Felder „Engines“ und „Transport“ einordnen, die sich beide auf den unteren Rängen der Tabelle befinden. Die Technologie „Biodiesel“ scheint bereits genügend ausgereift, um beim Patentierungsprozess nicht mehr auf aktuelle wissenschaftliche Literatur angewiesen zu sein. Dafür spricht auch, dass zwar 2477 NPL-Zitationen nachgewiesen werden können, aber auch 10017 Zitationen auf Patente. Auffällig ist außerdem, dass nur ein geringer Teil der NPL-Zitationen auf den Suchanfragendatensatz deutet (6,94%). Damit zitieren nur 16,28% aller Patente mit NPL-Zitationen Publikationen aus diesem Datensatz. Am häufigsten werden im Suchanfragendatensatz ein Artikel aus dem Jahr 2003 mit dem Titel „Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and

5.1 Evaluierung der Footprintanalyse

other methods: a survey“ (sechs Zitationen aus dem Patentdatensatz) und ein Artikel aus dem Jahr 2005 über „Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine“ (fünf Zitationen) zitiert. Sehr viel häufiger werden Publikationen zitiert, die augenscheinlich nichts mit dem Thema „Biodiesel“ zu tun haben. Am häufigsten (26-mal) zitiert wird eine Publikation aus dem Jahr 1996 über „Less-than-additive epistatic interactions of quantitative trait loci in tomato“ und am zweithäufigsten (25-mal) eine Publikation aus dem Jahr 1989 mit dem Titel „Genetic analysis of brown stem rot resistance in soybean“. Ein Blick in die zitierenden Patente offenbart, dass sich im Patentdatensatz 31 Patentfamilien befinden, die sich mit neuen Arten von genveränderten Sojabohnen beschäftigen. Die meisten stammen von der Firma Monsanto und zitieren die am häufigsten zitierten wissenschaftlichen Publikationen, welche sich nicht im Suchanfragedatensatz befinden. Der Bezug zum Biodiesel wird in den Abstracts der Patentfamilien erläutert. Das Öl der Sojabohnen wird unter anderem auch zur Herstellung von Biodiesel verwendet. Weitere zitierte Publikationen, die sich nicht im Suchanfragedatensatz befinden, beschäftigen sich mit chemischen Prozessen wie der Umesterung und der Nutzung von Pflanzenölen als Treibstoff (ohne deren Umwandlung in Biodiesel). Die nicht im Suchanfragedatensatz befindliche Literatur beschreibt also meist grundlegendere Forschung. Das Thema Biodiesel bewegt sich momentan also nicht in andere Forschungsfelder.

Tabelle 5.2: Analyse der NPL-Zitationen, die auf den Suchanfragedatensatz des Themas Biodiesel weisen.

Patentdatensatz (2510 Patentfam.):	
Patentfam. mit NPL-Zit.	NPL-Zitationen
479	2477
Science Linkage (Alle Pat.)	Science Linkage (Pat. mit NPL)
0,99	5,17
Suchanfragedatensatz S (5763 Publikationen):	
Zitate auf S	Anteil (an allen NPL-Zit.)
172	6,94%
Patentfam. mit Zit. auf S	Anteil (an Pat. mit NPL)
78	16,28%

Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes

Im Suchanfragedatensatz befinden sich insgesamt 5763 Publikationen. Der zeitliche Verlauf der Publikationszahlen (siehe Abbildung 5.5) zeigt, dass das Thema, ähnlich wie im Patentdatensatz, seit 2004 ein starkes Publikationswachstum aufweist. Der bisherige Höhepunkt von 1323 Publikationen liegt im letzten untersuchten Jahr 2009. Eine Abschwächung des Wachstums ist momentan noch nicht zu erkennen. Im „Biodiesel Handbook“ wird darauf hingewiesen, dass der Begriff „Biodiesel“ relativ jungen Datums ist. Dort wird angegeben, dass die erste Publikation, welche diesen Begriff aufweist, ein chinesisches Paper des Jahres 1988 ist (nicht im Web of Science). Die nächste Publikation stammt aus dem Jahre 1991 und ist auch das älteste Paper im Suchanfragedatensatz (Knothe u. a., 2005, S. 10). Auch im Patentdatensatz sind erst ab diesem Jahr Publikationen nachweisbar.

Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

Die Analyse der Forschungsorientierung der zum Thema „Biodiesel“ publizierenden Institutionen führt ebenfalls zu einem erwarteten Ergebnis (siehe Abbildung 5.6). Der Anteil der publizierenden Institutionen mit Anwendungsorientierung bewegt sich seit 1995 zwischen 26% und 40%. Damit ist der Anteil dieser Institutionsgruppe so hoch wie in keinem anderen Beispiel dieser Arbeit (der Höhepunkt ist im Jahr 2000 mit 39,34% erreicht). Interessanterweise nimmt der Anteil der anwendungsorientierten Institutionen seit 2002 stetig ab und jener der grundlagenorientierten Institutionen zu.

Subject-Area Quadrant-Allocation

Die SAQA für das Thema „Biodiesel“ (siehe Kapitel 4.2.6) ergibt ein Bild, das sich mit den bisherigen Ergebnissen deckt. Abgesehen von den Jahren 1991, 1993 und 2002 ist das Thema vollständig in Edisons Quadranten beheimatet (siehe Abbildung 5.7). Die Jahre 1992, 1998 und 1999 weisen die stärksten Werte auf der Y-Achse und die schwächsten auf der X-Achse auf. Die übrigen Werte befinden sich in einem relativ engen Cluster in Edisons Quadranten. Dies ist nicht verwunderlich, da die meisten Publikationen aus Zeitschriften der Subject Areas „Energy & Fuels“ (2105 Publikationen) und „Engineering, Chemical“ (1743 Publikationen) stammen, beides Subject Areas, die in Edisons Quadranten eingeordnet wurden. Erst die Publikationen aus den Subject Areas „Biotechnology & Applied Microbiology“ (934 Publikationen) und „Environmental Sciences“ (607 Publikationen) sind in Pasteurs Quadranten auffindbar. Damit entspricht auch die SAQA dem erwarteten Ver-

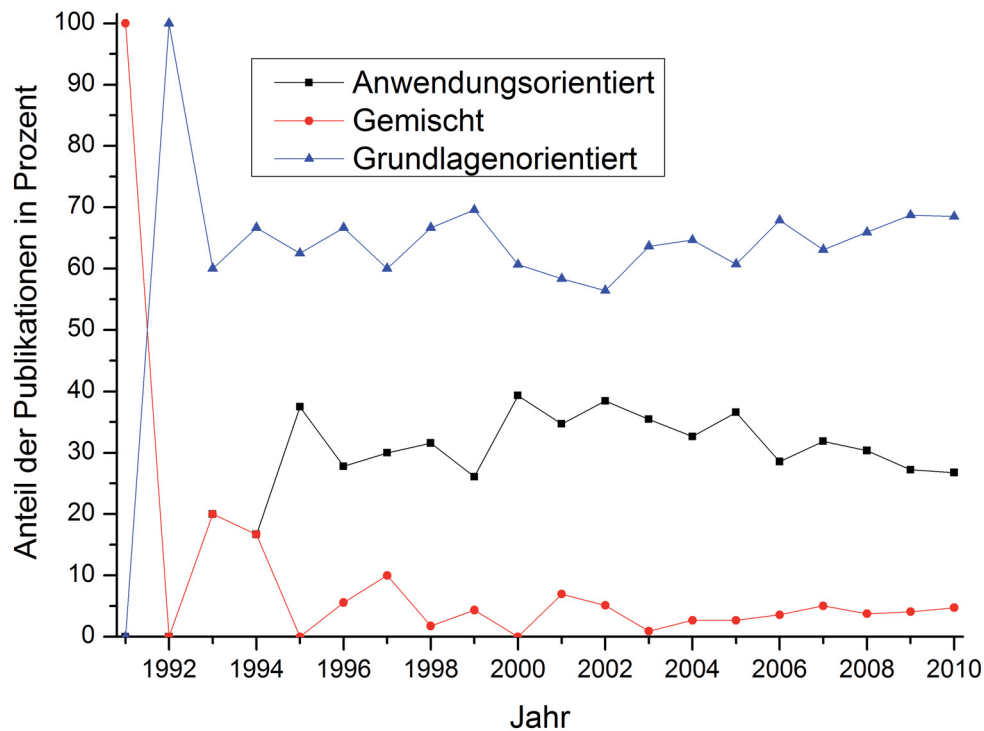


Abbildung 5.6: Zeitliche Entwicklung des Anteils am Publikationsaufkommen verschiedener Institutionstypen im Suchanfragedatensatz für das Thema Biodiesel.

halten innerhalb dieses Themas.

Vergleich mit bekannten Mustern

Das Thema „Biodiesel“ scheint keinem bestimmten Muster zu folgen. Seit 2004 wachsen die Publikationszahlen stark an, und seitdem ist auch kein Abschwächen dieses Trends zu beobachten. Lediglich das Abklingen der Publikationszahlen anwendungsorientierter Institutionen könnte ein schwaches Indiz dafür sein, dass das Thema in die Stagnationsphase eines Double-Boom-Zyklus eintreten könnte.

Vergleich mit anderen Studien

In der Studie von Järvenpää u. a. (2011) wird „Biodiesel“ als eine von drei Fallstudien bibliometrisch analysiert (siehe Kapitel 4.1). Die Autoren geben das Jahr 1992 an, in dem das Thema im Science Citation Index erstmalig erwähnt wird. Dies ist nicht ganz korrekt, da bereits im Jahr 1991 eine Veröffentlichung mit dem Titel „Determination of Saponifiable Glycerol in Bio-Diesel“ zu finden ist. Möglicherweise hatten die Autoren einen

5 Resultate der Footprintanalyse

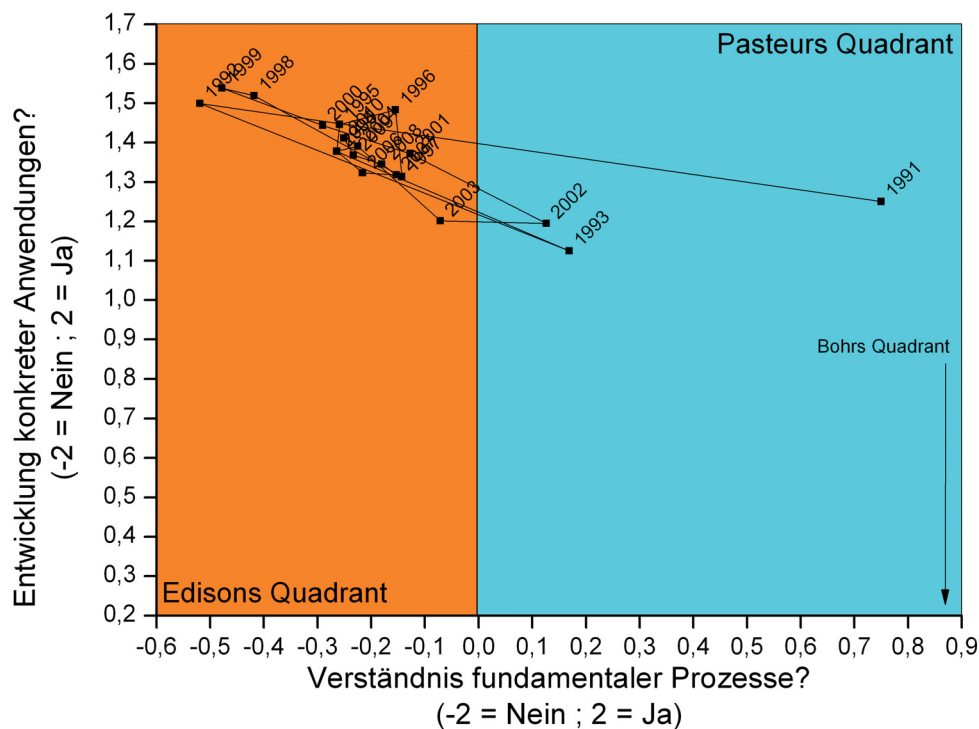


Abbildung 5.7: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Suchanfragensdatensatzes für das Thema Biodiesel.

eingeschränkteren Zugang zum Web of Science. Sie gehen in ihrer Studie zuerst davon aus, dass Biodiesel ein Thema ist, das seinen Ursprung nicht in der Wissenschaft hat, stellen in ihrer Analyse aber fest, dass das Thema sehr viele Veröffentlichungen im Science Citation Index aufweist. Auch in der Presse weist dieses Thema hohe Publikationszahlen auf. Dies hängt nach Meinung der Autoren mit der umweltpolitischen Relevanz dieses Themas zusammen. Interessanterweise sind die Publikationszahlen im Science Citation Index und in der Datenbank Compendex sehr ähnlich (siehe Abbildung 5.8). Die Anzahl der Patente ist laut dieser Studie im Vergleich zu denen in der vorliegenden Dissertation jedoch geringer. Dies hängt damit zusammen, dass die Autoren nur die Daten der USPTO nutzten und nur im Titelfeld nach dem Wort „Biodiesel“ suchten. In der Diskussion des Artikels geben die Autoren an, dass es sinnvoll sein kann weitere Patentdatenbanken zu nutzen. Schlussendlich stellen sie fest, dass die von ihnen genutzten Indikatoren lediglich dafür verwendet werden können, Themen zu untersuchen, die ihren Ursprung in der Wissenschaft haben. Da dies bei dem Thema „Biodiesel“ nicht der Fall ist, ziehen die Autoren den Schluss, dass möglichst viele unterschiedliche Datenbanken und Methoden eingesetzt werden sollten, um die mannigfaltigen Entwicklungen verschiedener Themen analysieren zu können. Analysen

der Subject Areas (SAQA) und der publizierenden Institutionen und die Nutzung weiterer Datenbanken, wie sie für die vorliegende Arbeit stattfinden, ist sinnvoll, um Studien wie diejenige von Järvenpää u. a. zu relativieren und weitere Aspekte zu beleuchten.

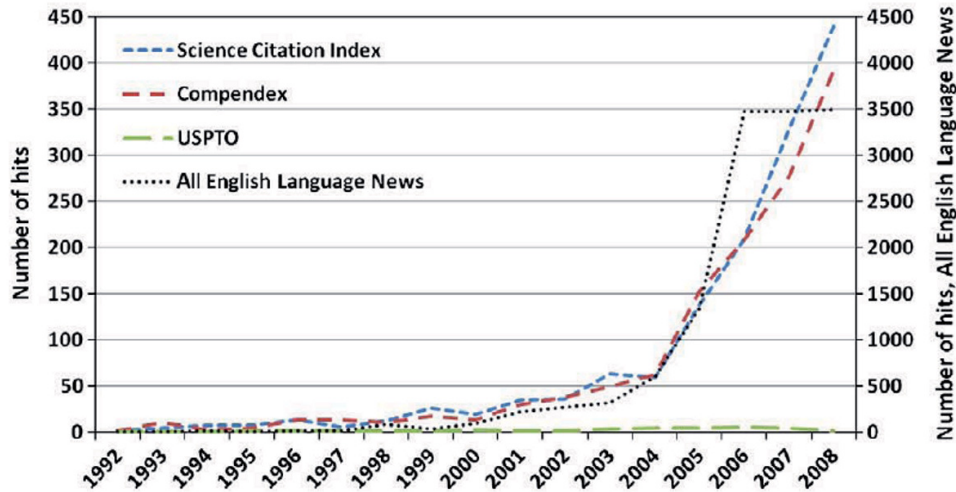


Abbildung 5.8: Die Wachstumskurven des Themas Biodiesel bei Järvenpää u. a. (Quelle: Järvenpää u. a., 2011, S. 288)

Zusammenfassung

Die Footprintanalyse des Themas „Biodiesel“ liefert die eingangs vermuteten Ergebnisse. Das Thema ist sehr technologisch geprägt mit einigen Anteilen aus der Grundlagenforschung. Es handelt sich um ein aktuelles Thema, das ein starkes Wachstum seiner Publikationszahlen verzeichnet. Die Science Linkage ist im Vergleich zu anderen Technologiefeldern und anderen in dieser Arbeit untersuchten Themen niedrig, was ebenfalls für eine geringe Wissenschaftsbindung und für eine stärkere Technologieausrichtung spricht. Der Großteil der publizierenden Institutionen ist zwar grundlagenorientiert, aber dies lässt sich mit der allgemein starken Grundlagenorientierung des Web of Science erklären (siehe Kapitel 3.2.1). Trotzdem weist dieses Thema den stärksten Anteil an publizierenden Institutionen mit Anwendungsorientierung auf. Die SAQA befindet sich, bis auf wenige Ausnahmen, vollständig in Edisons Quadranten. Das Thema wird also meist von Institutionen mit Grundlagenorientierung im Bereich der angewandten Forschung bearbeitet. Auch bei diesem Test liefert die Footprintanalyse plausible Ergebnisse und einen Hinweis auf einen möglichen Zukunftstrend dieses Themas.

5.1.3 Fallstudie zum Thema „Rastertunnelmikroskop“

Beschreibung des Genesisartikels

Bereits 1981 führten Binnig u. a. (1982) das erste erfolgreiche Experiment durch, welches zur späteren Entwicklung des Rastertunnelmikroskops beitrug. Im folgenden Jahr wurden ihre Erkenntnisse veröffentlicht, und 1986 erhielten sie den Nobelpreis für diese Errungenschaft. Die Autoren führten ihre Arbeiten im Unternehmen IBM durch. Nach Rosenberg (1992) kann die Entwicklung neuer Instrumente zu einer verstärkten Aktivität in der Grundlagenforschung führen, die wiederum die Entwicklung von Technologien vorantreibt. Allerdings beschreibt Rosenberg nur Instrumente, die durch Grundlagenforschung an Universitäten entwickelt wurden. Die Entwicklung von Instrumenten lässt sich aber auch, wie in diesem Fall, dem Bereich der angewandten Forschung zurechnen (siehe Kapitel 4.2.7). Der Genesisartikel für das Thema „Rastertunnelmikroskop“ wurde in einer Zeitschrift veröffentlicht, die der Subject Area „Physics, Multidisciplinary“ angehört und sich in Pasteurs Quadranten befindet. Dies unterstreicht wiederum die gemischte Orientierung dieser Entwicklung. Dieser Artikel wurde für das Thema Rastertunnelmikroskop als Genesisartikel³ ausgewählt, um zu testen, ob es dem Rosenberg-Muster folgt. Für diese Footprintanalyse wurde der Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft genutzt.

Beschreibung der Technologie

In der Rastertunnelmikroskopie dient eine elektrisch leitende Nadel als Sonde, deren Spitze über eine untersuchte Oberfläche entlangfährt. Gemessen wird der elektrische Strom zwischen dieser Spitze und der Oberfläche. Die Werte der Messung bilden so die untersuchte Oberfläche ab. Bei dieser Art von Abbildungsmethode entspricht das errechnete Bild nicht immer nur der realen Oberfläche, sondern auch ihrer elektronischen Struktur. Diese neue Art der Mikroskopie ermöglicht eine hohe Auflösung bis in den atomaren Bereich, die bis zu ihrer Erfindung in der Mikroskopie unerreichbar war. Allerdings können zur Messung des Tunnelstroms nur elektrisch leitende Oberflächen mit dem Rastertunnelmikroskop untersucht werden. Das später von Binnig mitentwickelte Rasterkraftmikroskop kann dagegen auch auf nicht leitenden Oberflächen eingesetzt werden (Binnig u. Rohrer, 1982, Kuk u. Silverman, 1989 und Besenbacher u. a., 2009).

³Hinweis: Im Genesisartikel ist der Name des Erstautors, Gerd Binnig, falsch abgedruckt. Er steht dort als „G. Binning“ und ist somit auch im Web of Science falsch erfasst.

Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendungsmöglichkeiten für das Rastertunnelmikroskop sind so einfach wie vielfältig: die Untersuchung von Oberflächen mit einer Auflösung im atomaren Bereich. Damit stellt die Entwicklung dieses Mikroskops einen wichtigen Schritt in Richtung der Nanowissenschaften und Nanotechnologie dar, da mit diesem Instrument Objekte im Nanobereich ausreichend gut beobachtet werden können. Außerdem ermöglichte das Rastertunnelmikroskop die Untersuchung und Erklärung von Oberflächenphänomenen, welche sich vorher jeder Analyse entzogen (Besenbacher u. a., 2009). Weitere Anwendung findet das Rastertunnelmikroskop in der Materialforschung und der Halbleiterherstellung, zum Beispiel bei der Qualitätskontrolle von extrem dünnen Schichten (Luther u. a., 2004, S. 81).

Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes

Der heruntergeladene Zitationsdatensatz für das Thema „Rastertunnelmikroskop“ beinhaltet 2474 Einträge (Stand: 5. Januar 2011). Der zeitliche Verlauf der Publikationszahlen (siehe Abbildung 5.9) zeigt, dass der Genesisartikel bis zum Jahr 1994 sehr häufig zitiert wurde (138-mal), wobei die Zahl der Zitationen bis dahin beständig anstieg.

Dieses Jahr stellt jedoch gleichzeitig den Höhepunkt der Zitationszahl dar. Seit dem Jahre 1999 schwankt die Zahl der Zitationen des Genesisartikels relativ stabil zwischen 79 und 95 Zitationen. Im Jahr 2009 zitierten ihn noch 89 Publikationen.

Schlagwortanalyse

Das gestemmte Schlagwort „Scanning tunneling microscopy“ und seine Varianten werden im Zitationsdatensatz, wie erwartet, am häufigsten genannt (auf Rang 1 mit 185 Nennungen). An zweiter Stelle rangiert die Rasterkraftmikroskopie („Atomic Force Microscopy“) mit 115 Nennungen. Hierbei handelt es sich um einen Nachfolger des Rastertunnelmikroskops, welches von Forschern ebenfalls häufig benutzt wird. Die Abkürzungen dieser beiden Mikroskopvarianten „STM“ und „AFM“ werden auch sehr häufig genannt, ebenso wie die Variante mit der Nennung des Mikroskops statt der Mikroskopie. Die restlichen Schlagwörter beschreiben zum größten Teil weitere Methoden der sogenannten Rastersondenmikroskopie sowie Materialien, die damit untersucht werden.

5 Resultate der Footprintanalyse

Tabelle 5.3: Tabelle der Schlagwörter für das Thema Rastertunnelmikroskop

Rang	Schlagwort (nach Stemming)	Anzahl der Nennungen
1	scan tunnel microscopi	185
2	atom forc microscopi	115
3	stm	58
4	scan probe microscopi	55
5	silicon	38
6	atom forc microscop	35
7	afm	33
8	scan tunnel microscop	32
9	nanotechnologi	22
10	scan tunnel spectroscopi	20
11	nanostructur	18
12	surfac	18
13	gold	17
14	graphit	15
15	microscopi	15
16	self assembli	15
17	nanofabr	14
18	surfac structur	14
19	copper	13
20	magnet forc microscopi	13
21	scan forc microscopi	13
22	thin film	13
23	dna	12
24	tunnel	12
25	adsorpt	11
26	carbon nanotub	11
27	molecular electron	11
28	si	11
29	surfac rough	11
30	topographi	11
31	friction	10
32	morphologi	10
33	nanolithographi	10
34	self assembl monolay	10
35	cantilev	9
36	nucleat	9
37	protein	9
38	spm	9
39	carbon fiber	8
40	densiti function calcul	8

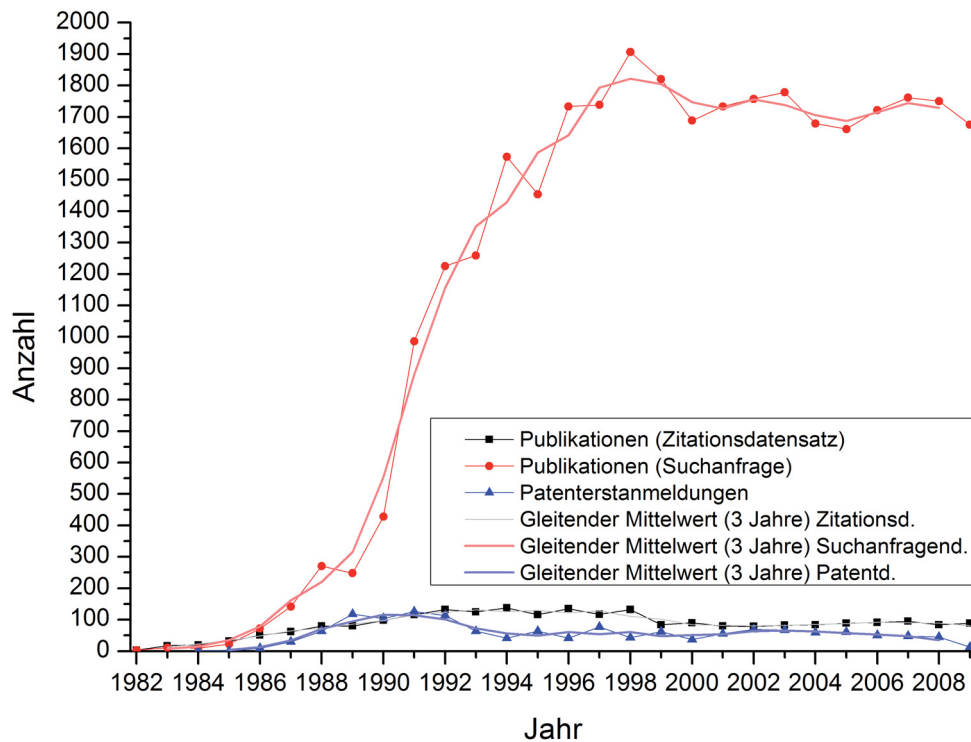


Abbildung 5.9: Überblick der Wachstumskurven für das Thema Rastertunnelmikroskop. Für jede Kurve wurde außerdem der gleitende Mittelwert über 3 Jahre berechnet.

Bibliometrische Patentanalyse

Nach Rücksprache mit einem Materialwissenschaftler im Fraunhofer INT wurde entschieden, die Suchanfrage für das Thema Rastertunnelmikroskop möglichst einfach zu halten:

ts="scanning tunnel* microscop**"

Auf die Einbeziehung der Abkürzung „STM“ wurde in der Suchanfrage verzichtet, da in der Literatur neben dem Rastertunnelmikroskop andere Fachbegriffe mit der gleichen Abkürzung existieren, zum Beispiel „Software Transactional Memory“, „Secondary Thickening Meristem“ oder „short-term memory“.

Mit der Suchanfrage konnten 1469 Patentfamilien gefunden werden (Stand: 24. November 2010). Ein Blick auf den zeitlichen Verlauf der Erstanmeldungen (siehe Abbildung 5.9) zeigt, dass im Jahr 1991 mit 126 Erstanmeldungen der Höhepunkt des Themas erreicht wurde. Daraufhin fiel die Anzahl wieder, und seit 1993 liegt die Zahl der Patentfamilien zwischen 40 und 60 pro Jahr. 2009 lag dieser Wert bei 13. Allerdings ist davon auszugehen, dass noch nicht alle Zahlen gemeldet wurden, oder dass es sich um einen Ausreißer nach unten handelt.

Analyse der Zitationen auf die Nicht-Patent-Literatur

Insgesamt können 3709 NPL-Zitationen nachgewiesen werden, von denen aber nur 180 (4,85%) auf den Zitationsdatensatz weisen. Insgesamt haben 411 Patente NPL-Zitationen, 94 davon (22,87%) sind NPL-Zitationen auf den Zitationsdatensatz. Publikationen aus dem Zitationsdatensatz werden im Patentdatensatz also relativ selten, jedoch von vielen verschiedenen Patenten, zitiert (siehe Tabelle 5.4). Der Genesisartikel wird 13-mal und somit am häufigsten zitiert. Am zweithäufigsten (9 Nennungen) wird ein Paper zitiert, an dem Binnig beteiligt war. Es fällt auf, dass viele Publikationen außerhalb des Zitationsdatensatzes zitiert werden, die sich mit dem Thema Kohlenstoffnanoröhren beschäftigen.

Tabelle 5.4: Analyse der NPL-Zitationen, die auf die beiden Datensätze zum Thema Rastertunnelmikroskop weisen.

Patentdatensatz (1469 Patentfam.):	
Patentfam. mit NPL-Zit.	NPL-Zitationen
411	3709
Science Linkage (Alle Pat.)	Science Linkage (Pat. mit NPL)
2,52	9,02
Zitationsdatensatz D (1013 Publikationen):	
Zitate auf D	Anteil (an allen NPL-Zit.)
180	4,85%
Patentfam. mit Zit. auf D	Anteil (an Pat. mit NPL)
94	22,87%
Suchanfragedatensatz S (33.268 Publikationen):	
Zitate auf S	Anteil (an allen NPL-Zit.)
546	14,72%
Patentfam. mit Zit. auf S	Anteil (an Pat. mit NPL)
187	45,50%

Im Suchanfragedatensatz werden erwartungsgemäß mehr Publikationen zitiert. Am häufigsten (13-mal) wird wieder der Genesisartikel zitiert. Auf Rang 2 mit 12 Nennun-

gen befindet sich ein Artikel über Nanoröhren und Rastersondenmikroskopie.

Das Thema „Rastertunnelmikroskopie“ lässt sich in die von Callaert u. a. (2006) und van Looy u. a. (2003) definierten Felder „Instruments“ und „Analysis, Measurement & Control Technology“ einordnen (siehe Kapitel 4.2.3). Callaert ermittelt als Wert für die Science Linkage des Feldes „Instruments“ 2,32 für europäische und 6,72 für amerikanische Patente. Der entsprechende Wert für das Thema „Rastertunnelmikroskopie“ ist 9,02, da Callaert als Rechenbasis nur Patente mit NPL-Zitation gewählt hat. Damit liegt der Wert für das Thema „Rastertunnelmikroskopie“ um einiges höher. Van Looy berechnet den Wert für das Feld „Analysis, Measurement & Control Technology“ auf Basis aller Patente und kommt auf einen Wert von 21,8 pro 100 Patente, also 0,218 pro Patent. Der vergleichbare Wert für das Thema „Rastertunnelmikroskopie“ ist 2,52 und damit um ein vielfaches höher. Dies bedeutet, dass das Thema eine höhere Science Linkage aufweist als die vergleichbaren Felder. Dies liegt vermutlich daran, dass im Patentdatensatz thematisch nicht nur Patente aus den Bereichen „Instruments“ oder „Analysis, Measurement & Control Technology“ auftauchen, sondern auch aus Feldern mit einer höheren Science Linkage. Diese Patente stammen wahrscheinlich aus den Feldern, in denen die Rastertunnelmikroskopie als Instrument genutzt wird.

Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes

Mithilfe der Suchanfrage für den Patentdatensatz wurde eine Suche im Web of Science durchgeführt. Der Suchanfragedatensatz beinhaltet 33.268 Publikationen. Die Wachstumskurve dieses Datensatzes verhält sich ähnlich wie diejenige des Zitationsdatensatzes (siehe Tabelle 5.9), allerdings auf höherem Niveau. Während beim Zitationsdatensatz die höchste Publikationszahl im Jahr 1994 festgestellt werden kann, liegt diese beim Suchanfragedatensatz im Jahr 1998. Nach diesem Jahr nimmt die Anzahl der Publikationen pro Jahr in beiden Datensätzen zunächst ab und bleibt dann relativ stabil.

Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

Da das Rastertunnelmikroskop bei IBM entwickelt wurde, findet sich in der Abbildung 5.10 im Zitationsdatensatz für die Jahre 1982 und 1983 eine ausschließliche Publikationsaktivität bei anwendungsorientierten Institutionen. Dabei handelt es sich 1982 komplett um Publikationen von IBM. Ab 1984 beginnen auch Universitäten Artikel über und mit dieser neuen Technologie zu veröffentlichen. Nach 1990 (39,13%) nimmt der Anteil der publizierenden, anwendungsorientierten Institutionen langsam ab. Für die Jahre 2003 bis

5 Resultate der Footprintanalyse

2007 steigt dieser Anteil wieder an und fällt dann in den Jahren 2008 und 2009 wieder (14,87%). Der Anteil der Publikationen mit gemischter Orientierung nimmt über die Jahre kontinuierlich zu und liegt im Jahr 2009 bei 10,74%. Relativ stabil bleibt dagegen der Anteil der publizierenden Institutionen mit Grundlagenorientierung. Dieser schwankt ab 1984 in einem Korridor zwischen 60% und 77%.

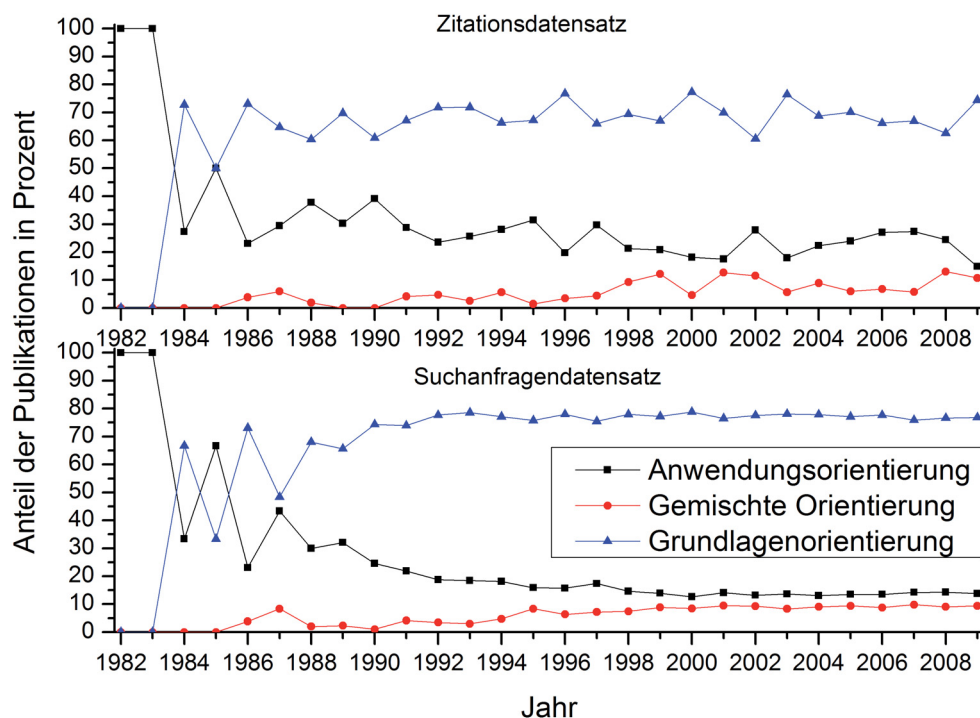


Abbildung 5.10: Zeitliche Entwicklung des Anteils am Publikationsaufkommen verschiedener Institutionstypen für das Thema Rastertunnelmikroskop.

Ganz ähnlich sieht es beim Suchanfragedatensatz aus. Dort schwanken die Werte nur sehr viel weniger, was an der Größe des Datensatzes liegen mag. Auch dort findet sich in den ersten Jahren eine starke Anwendungsorientierung, die dann aber schnell abnimmt. Im Gegenzug steigt die Grundlagenorientierung ab 1987 von 48,33% auf 78,58% im Jahr 1993. Seitdem bewegt sich der Anteil der publizierenden Institutionen mit Grundlagenorientierung in einem engen Korridor zwischen 75% und 78%. Auch hier nimmt die gemischte Orientierung langsam zu, während die Anwendungsorientierung stagniert.

Subject-Area Quadrant-Allocation

Die SAQA des Zitationsdatensatzes liefert keine stichhaltigen Argumente für ein Rosenberg-Muster (siehe Abbildung 5.11). Die Technologie beginnt im Jahr 1982 nahe an der Grenze

zwischen Bohrs und Pasteurs Quadranten und bewegt sich dann bis 1988 in Richtung Edisons Quadranten. Dann erfolgt eine stärkere Grundlagenorientierung und eine Clusterbildung. Diese Bewegung findet auf sehr kleinem Raum statt, und es ist daher fraglich, ob ein Rosenberg-Muster vorliegt.

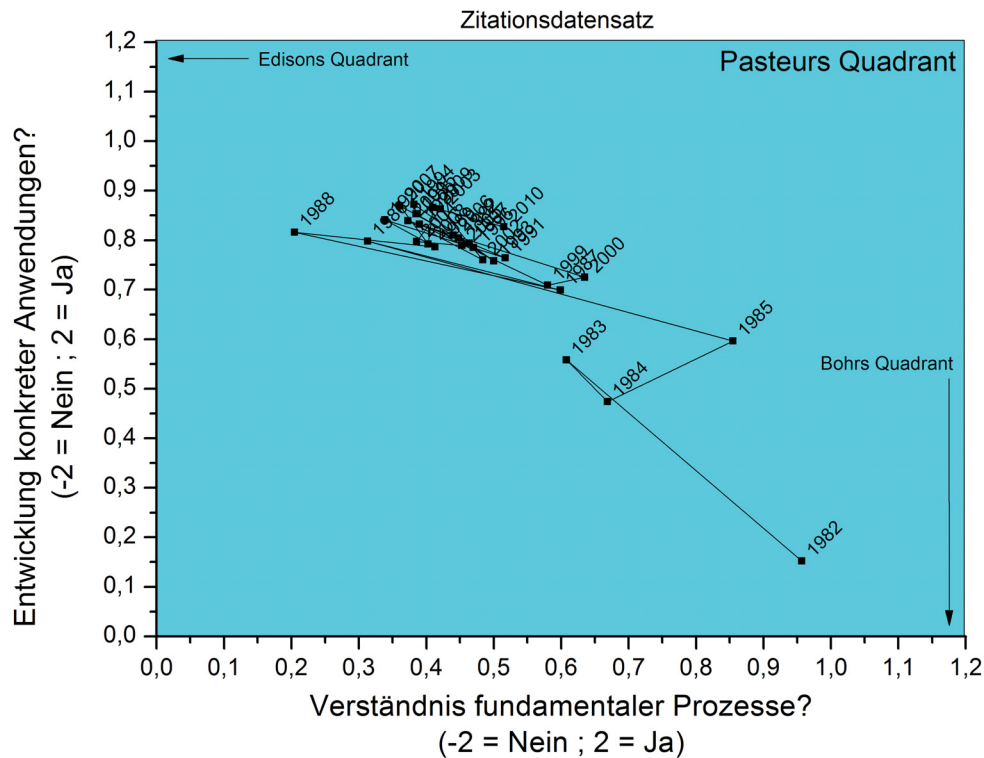


Abbildung 5.11: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Zitationsdatensatzes für das Thema Rastertunnelmikroskop.

Bei der SAQA des Suchanfragedatensatzes ist dagegen in Ansätzen ein solches Muster zu erkennen (siehe 5.12). Auch dort beginnt das Thema nahe an der Grenze zu Bohrs Quadranten, bewegt sich dann aber in den folgenden Jahren in die Nähe von Edisons Quadranten. Der Großteil der Punkte dieses Themas befindet sich aber ebenfalls klar in Pasteurs Quadranten.

Vergleich mit bekannten Mustern

Bei den SAQAs des Themas „Rastertunnelmikroskop“ deutet sich im Suchanfragedatensatz ein Rosenbergmuster an, während dieses im Zitationsdatensatz nur schwer zu erkennen ist. Die Tatsache, dass bei beiden SAQAs der Großteil der Punkte sich ungefähr in der Mitte von Pasteurs Quadranten befinden, spricht allerdings dafür, dass diese Mikro-

5 Resultate der Footprintanalyse

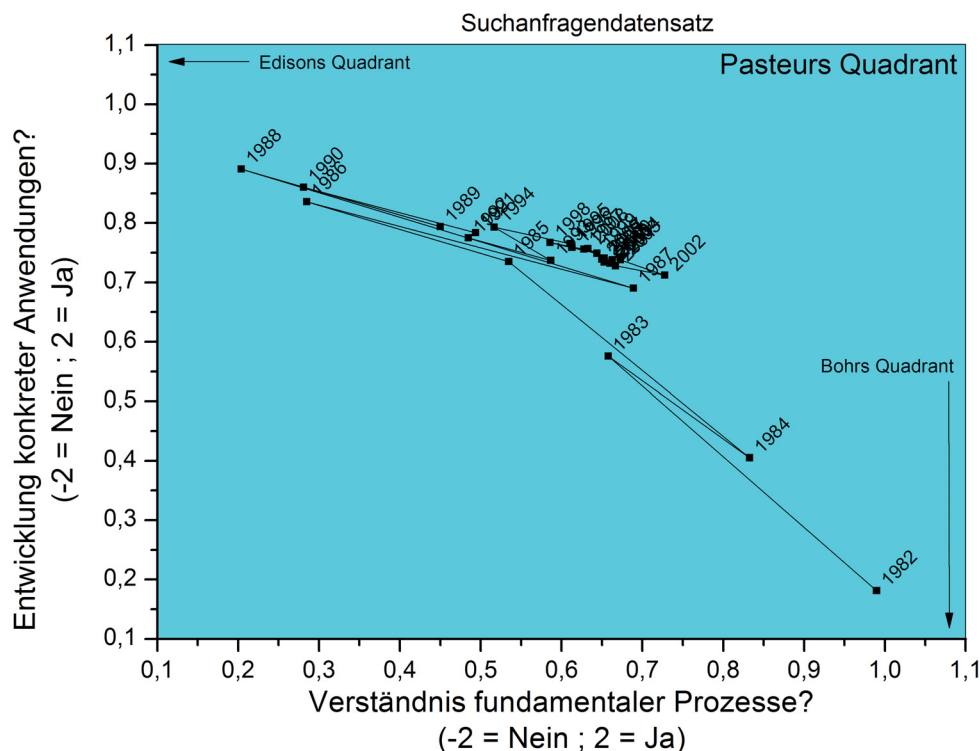


Abbildung 5.12: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Suchanfragensatzes für das Thema Rastertunnelmikroskop.

skopiemethode sowohl in der Grundlagen- als auch in der angewandten Forschung genutzt wird. Die meisten Publikationen des Suchanfragensatzes stammen aus den Feldern „Physics, Condensed Matter“ (11498 Publikationen), „Chemistry, Physical“ (9712 Publikationen) und „Physics, Applied“ (8621 Publikationen). Die ersten beiden Subject Areas befinden sich in Pasteurs Quadranten, die letzte in Edisons Quadranten. Mit „Physics, Atomic, Molecular & Chemical“ (1324 Publikationen) befindet sich auch eine Subject Area aus Bohrs Quadranten unter den zehn häufigsten Subject Areas. Diese breite Verteilung der Subject Areas spricht bei diesem Thema für ein Rosenberg-Muster.

Die Institutionsanalyse des Zitationsdatensatzes beinhaltet ebenfalls Hinweise auf ein Rosenberg-Muster. Die Technologie kommt aus der Anwendungsorientierung und wird dann stark bei den publizierenden, grundlagenorientierten Institutionen genutzt. Der Anteil der Anwendungsorientierung schwankt dann mit der Zeit, nimmt aber insgesamt ab, während die gemischte Orientierung zunimmt. Auch dies scheint dafür zu sprechen, dass eine Erfindung aus der angewandten Forschung für einen Publikationsschub in der Grundlagenforschung gesorgt hat, und sich diese beiden Forschungsfelder unterschiedlich stark,

gegenseitig verstärken. Im Suchanfragedatensatz lassen sich die starken Schwankungen des Zitationsdatensatzes, abgesehen von den frühen Jahren, nicht beobachten. Stattdessen ist der Anteil der drei Orientierungen seit Anfang der 90er Jahre relativ stabil, wobei die gemischte Orientierung leicht zu- und die angewandte Orientierung leicht abnimmt.

Anzeichen für ein anderes Muster, wie zum Beispiel einen Double-Boom (siehe Kapitel 4.2.7), konnten nicht gefunden werden.

Zusammenfassung

Das Thema „Rastertunnelmikroskop“ ist eine Entwicklung, die ursprünglich aus der Industrie gekommen und inzwischen stark in der Forschung genutzt wird. Es wurden Anzeichen dafür gefunden, dass dieses Thema mittlerweile auch in der Grundlagenforschung beheimatet ist. Dennoch ist dieses Thema nicht in Bohrs Quadranten sondern in Pasteurs Quadranten anzutreffen. Es handelt sich also um Grundlagenforschung und zum großen Teil auch um angewandte Forschung, was sich im relativ hohen Anteil der publizierenden Institutionen mit Anwendungsorientierung niederschlägt. Große Neuerungen innerhalb dieses Themas sind vom momentanen Stand aus nicht zu beobachten. Die Analyse der Daten spricht dafür, dass sich der Anteil der publizierenden Institutionen wie in den vergangenen Jahrzehnten weiterentwickeln wird, und das Thema weiter in Pasteurs Quadranten bleibt. Ähnliches lässt sich auch über die Wachstumskurven der Publikationszahlen sagen. Das Thema scheint sich seit Jahren in einer Phase der Sättigung zu befinden. Es lässt sich ein schwaches Rosenberg-Muster feststellen, da die Technologie aus der angewandten Forschung eines Unternehmens stammt und für einen Boom in der Grundlagenforschung gesorgt hat.

5.2 Footprintanalysen zu aktuellen Themen

In diesem Kapitel wird die Methode der Footprintanalyse auf aktuelle Technologien und wissenschaftliche Entdeckungen angewandt. Im Gegensatz zu vorangegangenen Tests handelt es sich hier um Themen, bei denen eine klare Einordnung in die Grundlagen- und angewandte Forschung vor der Anwendung der Footprintanalyse noch nicht bekannt war. Aus diesem Grunde wurden sie „aktuelle Themen“ genannt.

5.2.1 Fallstudie zum Thema „Autonom selbstheilende Werkstoffe“

Beschreibung des Genesisartikels

Das Konzept der selbstheilenden Werkstoffe wurde zum ersten Mal von Scott White von der Universität Illinois im Jahr 2001 realisiert (White u. a., 2001). Bei Erstellung der Footprintanalyse (Stand: Januar 2011) war dieser Artikel 404-mal zitiert worden. Für diese Footprintanalyse wurde der Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft genutzt.

Beschreibung der Technologie

Werkstoffe, die gerissen oder zerbrochen sind, benötigen Reparaturen, wenn man sie weiterhin problemlos verwenden möchte. In kritischen Situationen oder wenn die entsprechenden Werkzeuge nicht vorhanden sind, ist eine Reparatur aber nicht immer möglich. Die Idee, einen Werkstoff sich selbst „heilen“ zu lassen, wird schon seit Jahrzehnten verfolgt. Bei der entsprechenden Technologie wird von den meisten Forschungsgruppen auf eine Oberflächenbeschichtung des Werkstoffs gesetzt, der mikroskopisch kleine Kugeln enthält. Innerhalb dieser Kugeln befinden sich je nach Werkstoff bestimmte Agenzien. Bei einem Riss oder einer „Verletzung“ des Werkstoffs werden die Kugeln beschädigt und setzen dabei die Agenzien frei, die mit dem Werkstoff reagieren. Dieser ist daraufhin wieder voll funktionsfähig. Bei fast allen Forschungsansätzen dieser Art ist bedingt durch die Methode eine Selbstheilung an ein und derselben Stelle jedoch nur einmal möglich, da die Kugeln sich nach einer ersten Heilung nicht von selbst wieder mit Agenzien auffüllen können. Es werden Versuche durchgeführt, das Problem der einmaligen Selbstheilung mithilfe mikrovaskulärer Systeme zu lösen. Diese sollen, ähnlich wie die Adern im menschlichen Körper, die Agenzien an die „verletzte“ Stelle transportieren. Bei diesen Forschungsansätzen spricht man allgemein von „autonomer Selbstheilung“. Daneben existiert auch der Ansatz der „nicht-autonomen Selbstheilung“. Hier muss von außen ein „Heilreiz“, zum Beispiel in Form von UV-Strahlung oder Wärme, ausgeübt werden, um die Heilung zu bewirken (Reschke u. a., 2008b). Die vorliegende Footprintanalyse konzentriert sich auf die Ansätze der autonomen Selbstheilung. Zu diesem Thema wurde vom Fraunhofer INT im Jahr 2010 eine „Technologie Roadmap – Selbstheilende Materialien“ erstellt.⁴

⁴Siehe: http://www.int.fraunhofer.de/ppsf/Roadmap_de.html

Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendungsmöglichkeiten eines Werkstoffes, der sich autonom selber heilen kann, liegen auf der Hand: Überall dort, wo ein längerer Einsatz ohne Werkstattbesuch notwendig ist, haben diese Werkstoffe enorme Vorteile. Vor allem Werkstoffe, bei denen sich ein plötzlicher Bruch ereignen kann (zum Beispiel bei der Panzerung von Fahrzeugen durch feindlichen Beschuss, oder ähnlichem), wären flexibler verwendbar. Es ist mindestens eine Firma bekannt, die versucht, dieses Prinzip bereits kommerziell zu nutzen⁵. Dieses Unternehmen bietet Beschichtungen an, die sich bei Kratzern selbst heilen können. Die Firma verspricht bei Nutzung ihrer Beschichtungen längere Wartungszyklen und damit weniger Kosten.

Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes

Die Publikationszahlen des Zitationsdatensatzes zeigen ein stabiles Wachstum seit der Veröffentlichung des Genesisartikels (siehe Abbildung 5.13). Dieses Wachstum beschleunigt sich seit 2005 und zeigt seitdem keine Anzeichen einer Abschwächung.

Schlagwortanalyse

Von den 404 Publikationen des Zitationsdatensatzes weisen 228 Autorenschlagwörter auf. Nach dem Stemming bleiben 612 Schlagwörter übrig (für die 40 am häufigsten genannten siehe Tabelle 5.5). Wie erwartet befindet sich „self heal“ auf Platz eins (69 Nennungen), gefolgt von „microcapsul“ (31 Nennungen) und „composit“ (17 Nennungen). Neben Werkstoffen wie „polym“ und „epoxi“ werden auch Schlagwörter zu Beschädigungen wie zum Beispiel „fractur“ häufig genannt.

Bibliometrische Patentanalyse

Mithilfe eines Materialwissenschaftlers des Fraunhofer INT und der Schlagwörter wurde folgende Suchanfrage zusammengestellt und für die Suche im Derwent Innovation Index genutzt:

(ts=“self heal*“ OR ts=“selfheal*“ OR ts=“self repair*“ OR ts=“selfrepair*“ OR ts=“crack-heal*“ OR ts=crackheal* OR ts=“autonom* heali*“) AND (ts=microcapsu* OR ts=microencapsul* OR ts=autonom* OR ts=nanocaps* OR ts=nanocant* OR ts=microchannel* OR ts=microvasc*) AND (ts=material*

⁵Siehe: <http://www.autonomicmaterials.com/>

5 Resultate der Footprintanalyse

Tabelle 5.5: Tabelle der Schlagwörter für das Thema autonom selbstheilende Werkstoffe

Rang	Schlagwort (nach Stemming)	Anzahl der Nennungen
1	self heal	69
2	microcapsul	31
3	composit	17
4	mechan properti	17
5	smart materi	15
6	self repair	14
7	self heal materi	13
8	polym matrix composit	12
9	biomimet	11
10	microencapsul	11
11	epoxi resin	10
12	polym	10
13	poli	9
14	fractur	8
15	self heal polym	8
16	fatigu	7
17	romp	7
18	autonom	5
19	coat	5
20	dicyclopentadien	5
21	differenti scan calorimetri	5
22	epoxi	5
23	fractur tough	5
24	polym composit	5
25	self heal composit	5
26	adhesion	4
27	ag	4
28	autonom materi	4
29	damag	4
30	in situ polymer	4
31	interfac	4
32	microstructur	4
33	multifunct	4
34	nanestructur	4
35	nanotechnologi	4
36	polymer materi	4
37	repair	4
38	ring open metathesi polymer	4
39	scan electron microscopi	4
40	self assembli	4

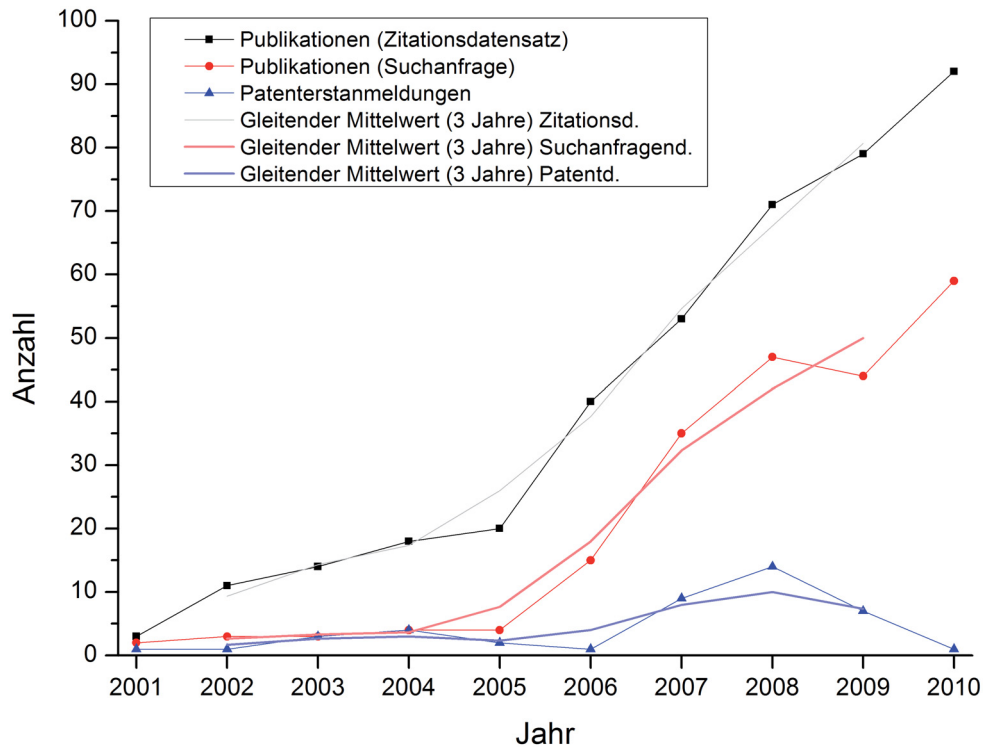


Abbildung 5.13: Überblick der Wachstumskurven für das Thema autonom selbstheilende Werkstoffe. Für jede Kurve wurde außerdem der gleitende Mittelwert über 3 Jahre berechnet.

OR ts=polymer* OR ts=cement* OR ts=glas* OR ts=ceramic* OR ts=metal*
 OR ts=coating* OR ts=alloy* OR ts=crack* OR ts=fractu* OR ts=matrix
 composit* OR ts=epoxy* OR ts=biomim* OR ts=gel*)

Die Suchanfrage baut auf drei Schlagwortgruppen auf. In der ersten befindet sich das Konzept der Selbstheilung mit Suchtermen wie „self heal“, „self repair“ und „autonom* heali*“. Die zweite Gruppe bezieht sich auf die autonome Selbstheilung mit Suchtermen wie „microcapsu*“, „microchannel*“ und „nanocont*“. In der letzten Gruppe finden sich schließlich Suchterme, die die Werkstoffgruppen (zum Beispiel „metal*“ und „ceramic*“) und die Beschädigungen (zum Beispiel „fractu*“ und „crack*“) beschreiben, die für die autonome Selbstheilung relevant sind. Mit dieser Suchanfrage konnten 44 Patentfamilien gefunden werden. Bereits im Jahr 1993 existiert eine erste Patentfamilie. Allerdings können bis zum Jahr 2001 keine weiteren Patentfamilien für dieses Thema nachgewiesen werden. Aus diesem Grunde wurde das Jahr 1993 bei der Analyse vernachlässigt. Die Wachstumskurve des Patentdatensatzes (siehe Abbildung 5.13) zeigt einen etwas anderen Verlauf als die beiden

5 Resultate der Footprintanalyse

anderen Datensätze. Im Jahr 2004 wird ein erster Höhepunkt auf niedrigem Niveau mit vier Patentfamilien erreicht. Die Zahl fällt bis 2006 auf eine Patentfamilie und steigt dann wieder auf den bisherigen Höhepunkt von 14 Patentfamilien im Jahr 2008. Seitdem sind die Zahlen wieder rückläufig.

Analyse der Zitationen auf die Nicht-Patent-Literatur

Tabelle 5.6: Analyse der NPL-Zitationen, welche auf die beiden Datensätze zum Thema autonom selbstheilende Werkstoffe weisen.

Patentdatensatz (44 Patentfam.):	
Patentfam. mit NPL-Zit.	NPL-Zitationen
8	36
Science Linkage (Alle Pat.)	Science Linkage (Pat. mit NPL)
0,82	4,5
Zitationsdatensatz <i>D</i> (405 Publikationen):	
Zitate auf <i>D</i>	Anteil (an allen NPL-Zit.)
10	27,78%
Patentfam. mit Zit. auf <i>D</i>	Anteil (an Pat. mit NPL)
5	62,5%
Suchanfragedatensatz <i>S</i> (218 Publikationen):	
Zitate auf <i>S</i>	Anteil (an allen NPL-Zit.)
9	25%
Patentfam. mit Zit. auf <i>S</i>	Anteil (an Pat. mit NPL)
5	62,5%

Da nur acht der insgesamt 44 Patentfamilien NPL-Zitationen aufweisen, ist die Science-Linkage, bezogen auf alle Patente, mit 0,82 die niedrigste aller in der vorliegenden Arbeit untersuchten Beispiele. Bezogen auf die Patente mit NPL ist sie mit 4,5 zwar höher, dieser Wert dürfte aber in Anbetracht der Tatsache, dass kaum Patentfamilien NPL-Zitationen aufweisen, mit Skepsis zu betrachten sein. Andererseits können 235 Zitationen

auf Patentliteratur (PL) nachgewiesen werden. Im Vergleich zum Thema Metamaterialien (Kapitel 5.2.2) und zu den Untersuchungen zur Science Linkage (Kapitel 3.3.2) ist die Science Linkage hier als niedrig einzustufen.

Bei den Verbindung zwischen Patentdatensatz auf der einen und Zitations- und Suchanfragedatensatz auf der anderen Seite sieht es ähnlich aus. Von den insgesamt nur 36 NPL-Zitationen weisen zehn auf den Zitations- (27,78%) und neun auf den Suchanfragedatensatz (25%). Der Anteil der Patentfamilien, die diese beiden Datensätze zitieren, ist zwar mit 62,5% (bei beiden Datensätzen) relativ hoch, hier gilt aber ebenfalls, dass wegen der niedrigen Zahl von Patentfamilien mit NPL-Zitationen der Wert mit Vorsicht zu betrachten ist.

Am häufigsten (drei Nennungen) wird aus dem Zitationsdatensatz der Genesisartikel zitiert, danach, jeweils mit zwei Nennungen, Publikationen über selbstheilende Materialien mit verschiedenen Agenzien und ein Artikel über autonome und nicht-autonome Selbstheilung. Bis auf eine Ausnahme (eine Publikation in der Zeitschrift „Nature“ mit dem Titel „A material fix“ mit einer Nennung) werden im Suchanfragedatensatz die gleichen Publikationen zitiert. Außerhalb der Datensätze werden Publikationen der populärwissenschaftlichen Literatur, Artikel über die für die Selbstheilung nötige Chemie und Publikationen über Mikrokapseln zitiert (alle jeweils mit einer Nennung).

Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes

Der Suchanfragedatensatz beinhaltet 218 Publikationen. Interessanterweise ist er damit kleiner als der Zitationsdatensatz. Ein Blick in die Schnitt- und Differenzmenge von Zitations- und Suchanfragedatensatz erklärt diesen Unterschied. Die Schnittmenge beider Datensätze umfasst insgesamt 142 Publikationen. Damit sind 75 Publikationen des Suchanfragedatensatzes (ca. 35%) und 262 Publikationen des Zitationsdatensatzes (ca. 65%) nicht in der Schnittmenge enthalten. Im Zitationsdatensatz finden sich Publikationen, die sich mit der nicht-autonomen Selbstheilung beschäftigen, Publikationen über Polymere und Arbeiten über vaskuläre Systeme und die Herstellung von Mikro- und Nanokapseln im Allgemeinen. Im engeren Sinne haben diese Publikationen nichts mit der autonomen Selbstheilung gemein. Die Publikationen im Suchanfragedatensatz, welche den Zitationsdatensatz nicht zitieren, handeln vor allem von der autonomen Selbstheilung. Hier kann also davon ausgegangen werden, dass die Autoren andere Artikel als den Genesisartikel für ihre Arbeit genutzt haben. Der Genesisartikel wird also nicht nur von den Forschern wahrgenommen, die sich mit der autonomen Selbstheilung beschäftigen. Auch jene, die

5 Resultate der Footprintanalyse

an der nicht-autonomen Selbstheilung und zu sekundären Aspekten wie der Herstellung von Mikro- und Nanokapseln forschen, beziehen sich auf den Genesisartikel. Der Genesisartikel ist außerdem in der Zeitschrift „Nature“ erschienen und damit in einer der am häufigsten zitierten Zeitschriften weltweit. Auch dies wird für eine hohe Wahrnehmung bei denjenigen Forschern gesorgt haben, die sich nicht direkt mit der autonomen Selbstheilung auseinandergesetzt haben.

Die Wachstumskurve (siehe Abbildung 5.13) des Suchanfragensdatensatzes verhält sich, auf niedrigerem Niveau, ähnlich wie die Kurve des Zitationsdatensatzes. Seit 2001 ist ein schwaches Wachstum zu beobachten, das sich ab 2005 verstärkt und bis heute anhält.

Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

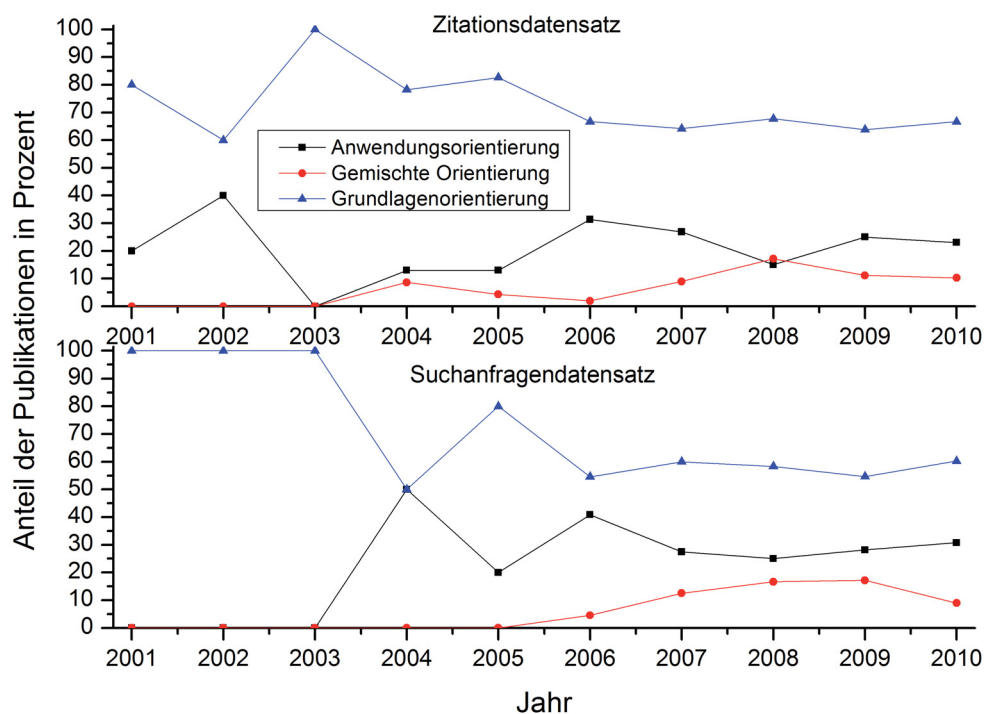


Abbildung 5.14: Zeitliche Entwicklung des Anteils am Publikationsaufkommen verschiedener Institutionstypen für das Thema autonom selbstheilende Werkstoffe.

Im Zitationsdatensatz schwanken die Publikationsanteile der verschiedenen Institutionstypen relativ stark (siehe Abbildung 5.14). Im Jahr 2003 kommen alle Publikationen von Institutionen mit Grundlagenorientierung. Danach fällt dieser Anteil auf ca. 66% und verharrt in diesem Bereich bis heute. Im Gegenzug nehmen die Anteile der Institutionen mit gemischter und angewandter Orientierung bis 2006 zu. Zwischen diesen beiden Instituti-

onstypen ändert sich jedoch die Verteilung der Anteile. Dies ist besonders im Jahr 2008 der Fall, wo der Anteil der Institutionen mit gemischter Orientierung höher ist als jener mit angewandter Orientierung.

Im Suchanfragensatz ist die Situation ein wenig anders. In den ersten Jahren von 2001 bis 2003 kommen alle Publikationen von Institutionen mit Grundlagenorientierung. Danach fällt dieser Anteil im Jahr 2004 auf 50%. 2005 steigt der Anteil noch einmal auf 80% und pendelt sich in den folgenden Jahren zwischen 54% und 60% ein. Bis 2006 gibt es keine Publikationen von Institutionen mit gemischter Orientierung. Danach schwankt dieser Anteil zwischen 8% und 12%.

Subject-Area Quadrant-Allocation

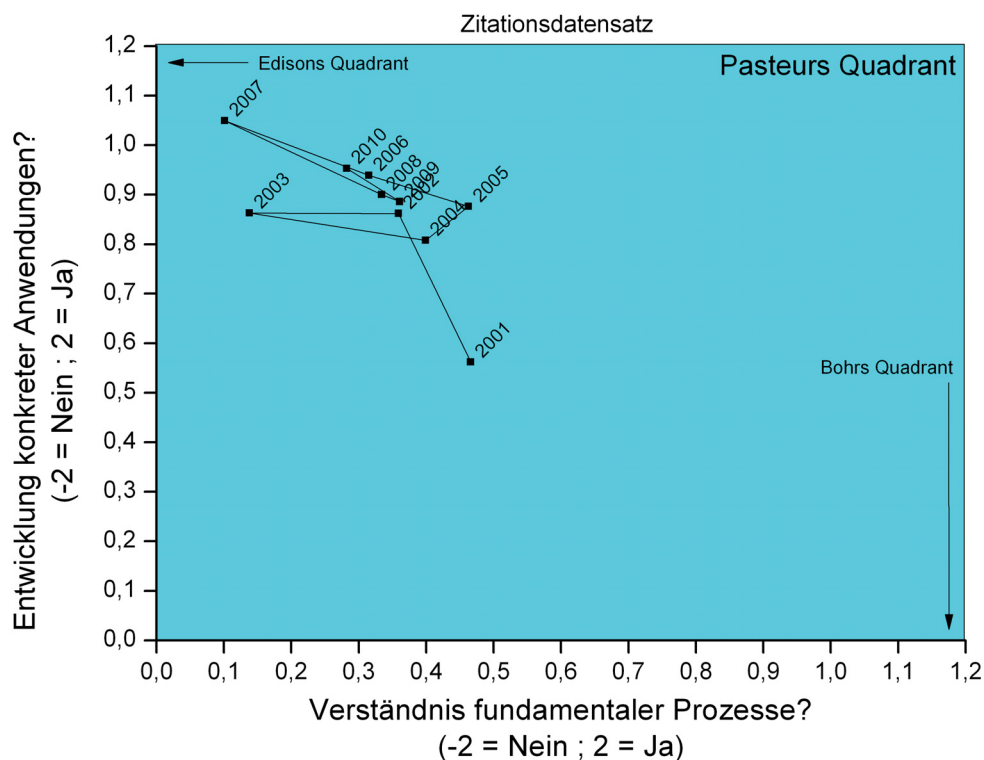


Abbildung 5.15: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Zitationsdatensatzes für das Thema autonom selbstheilende Werkstoffe.

Die gesamte SAQA des Zitationsdatensatzes für das Thema „Autonom selbstheilende Werkstoffe“ befindet sich in Pasteurs Quadranten (siehe Abbildung 5.15). Bis auf die Jahre 2001, 2003 und 2007 clustern sich die Punkte außerdem in einem relativ engen Fenster in der Nähe von Edisons Quadranten.

5 Resultate der Footprintanalyse

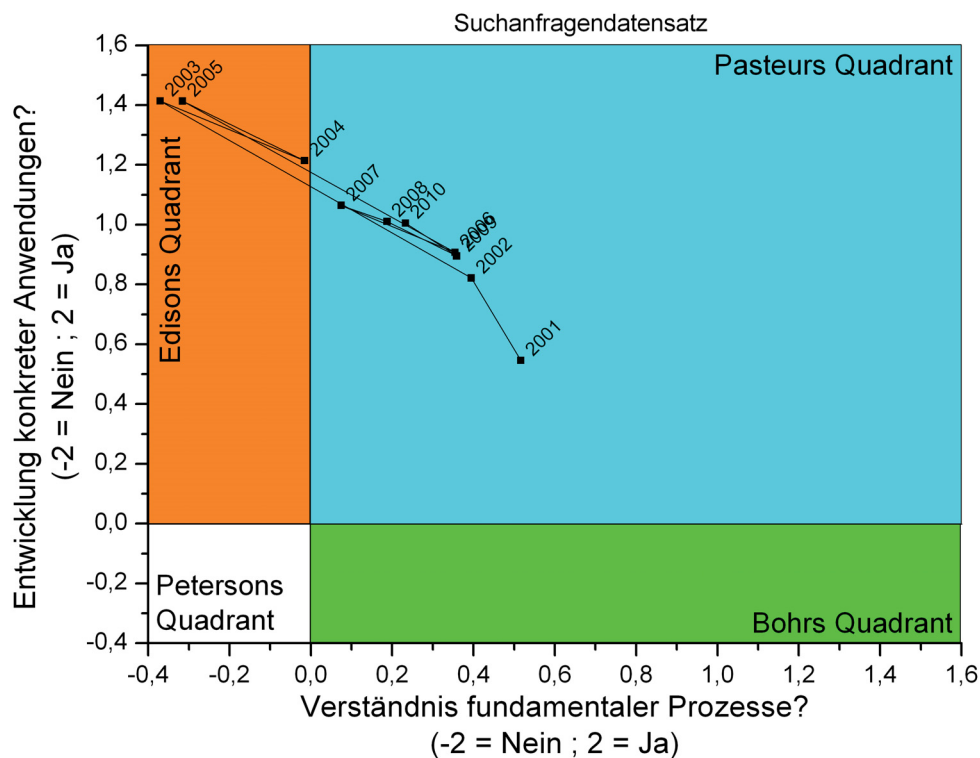


Abbildung 5.16: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Suchanfragensatzes für das Thema autonom selbstheilende Werkstoffe.

Im Gegensatz zur SAQA des Zitationsdatensatzes ist die SAQA des Suchanfragensatzes näher am und teilweise innerhalb von Edisons Quadranten. Dies ist nachvollziehbar, da die Analyse der beiden Datensätze gezeigt hat, dass die Literatur im Suchanfragensatz enger gefasst ist und zum größten Teil das eigentliche Thema behandelt. Im Zitationsdatensatz finden sich dagegen einige Publikationen über die Konstruktion von Mikrokapseln und über nicht-autonome Selbstheilung.

Zusammenfassung

Das Thema „Autonom selbstheilende Werkstoffe“ verhält sich teilweise wie das in Kapitel 5.1.2 aufgeführte Thema „Biodiesel“. Beide Themen weisen eine niedrige Science Linkage auf. Dies spricht dafür, dass auch die autonom selbstheilenden Werkstoffe stark an Technologien orientiert sind. Auch der moderate Anstieg der Publikationszahlen, wenn auch in einem kürzeren Zeitraum, ist vergleichbar mit dem Thema „Biodiesel“. Der Anteil der publizierenden Institutionen mit Anwendungsorientierung ist bei den autonom selbstheilenden Werkstoffen zwar niedriger als beim Biodiesel, dies hängt aber vermutlich mit der

kürzeren Entwicklungszeit zusammen, die bei den autonom selbstheilenden Werkstoffen vorliegt. Während Biodiesel bereits seit 1991 eingehender erforscht wird, ist dies bei den autonom selbstheilenden Werkstoffen erst seit 2001 der Fall. Ähnlich verhält es sich mit den SAQAs der beiden Themen. Biodiesel ist fast vollständig in Edisons Quadranten eingeordnet, während die SAQA des Suchanfragedatensatzes bei den autonom selbstheilenden Werkstoffen nur teilweise in diesem Quadranten zu finden ist. Die Punkte der Jahre 2007 bis 2010 befinden sich zwar wieder in Pasteurs Quadranten, aber es wäre denkbar, dass sich das Thema in Zukunft wieder in die Richtung von Edisons Quadranten bewegt und anschließend einen Verlauf nimmt wie das Thema „Biodiesel“. Betrachtet man die ersten kommerziellen Angebote dieser Werkstoffe, erscheint dies durchaus möglich. Das Thema ist für eine Forschungsgesellschaft wie die Fraunhofer-Gesellschaft also durchaus von Interesse, da weitere Forschungsaufträge zu erwarten sind. Einer Anwendungsorientierung steht jedoch bisher eine sehr schwache Patentaktivität gegenüber. Die SAQAs zeigen, dass das Thema noch in Pasteurs Quadranten beheimatet ist und sich möglicherweise bald in die Richtung von Edisons Quadranten weiter bewegt.

5.2.2 Fallstudie zum Thema „Metamaterialien“

Beschreibung des Genesisartikels

Der Genesisartikel dieser Technologie⁶ wurde von Veselago (1968) verfasst. Er beschreibt die theoretischen Grundlagen, die ein Metamaterial auszeichnen, nämlich die sogenannten negativen Brechzahlen sowie die negative Permeabilität. Der Genesisartikel wurde insgesamt 2801-mal zitiert (Stand: 22. Juni 2009). Über den Datenbankzugang der Universität Düsseldorf konnten 2638 davon aus dem Science Citation Index Expanded, dem Social Science Citation Index und dem Arts & Humanities Citation Index heruntergeladen und weiter analysiert werden. Die fehlenden Publikationen befinden sich in den beiden Conference Proceedings Citation Indizes, die über den Zugang der Universität Düsseldorf nicht freigeschaltet sind (siehe Kapitel 3.2.1).

Beschreibung der Technologie

Bei „Metamaterialien“ handelt es sich um synthetische Objekte, die in sich streng geometrisch aufgefasst sind. Damit spiegeln sie das dreidimensional-periodische Bauprinzip

⁶Teile der Footprintanalyse zu diesem Thema wurden bereits in Jovanovic (2007) und Jovanovic u. a. (2009) veröffentlicht.

5 Resultate der Footprintanalyse

kristalliner Materie wider – deshalb auch der Name Metamaterial. Die einzelnen Bausteine („Atome“) des Metamaterials bestehen aus elektrisch leitenden, technischen Bauteilen wie zum Beispiel Sprengringen. Metamaterialien kommen üblicherweise in der Natur nicht vor und besitzen besondere elektromagnetische Eigenschaften. Zu diesen gehört, dass sie sogenannte negative Brechzahlen beziehungsweise einen negativen Brechungsindex aufweisen. Elektromagnetische Strahlung, die auf ein Metamaterial trifft, wird deshalb nicht auf die in der Natur übliche (bei positiven Brechzahlen) Art gebeugt, sondern in eine andere Richtung. Zur Erläuterung kann Licht dienen, welches auf Wasser trifft. Jeder kennt das Phänomen, dass Licht an der Grenzfläche von Luft zu Wasser gebeugt wird. Das bekannte Bild eines Strohhalmes in einem Glas Wasser sieht entsprechend seltsam aus, wenn man die normale Beugung des Lichts mit einer simulierten Beugung von „Wasser“ mit einem negativen Brechungsindex vergleicht. Bei normalem Wasser sieht es so aus, als würde der Strohhalm an der Wasseroberfläche abgebrochen werden und sich ein wenig versetzt im Wasser befinden. Wäre das Wasser ein Metamaterial, dann würde das Licht nicht auf die gewohnte Art gebeugt werden (Brand, 2008 und Reschke u. a., 2008a, S.35-36). Der Strohhalm würde aussehen, als ob er im Wasser in die andere Richtung geknickt wurde. Die Abbildungen 5.17 und 5.18 erläutern dies.

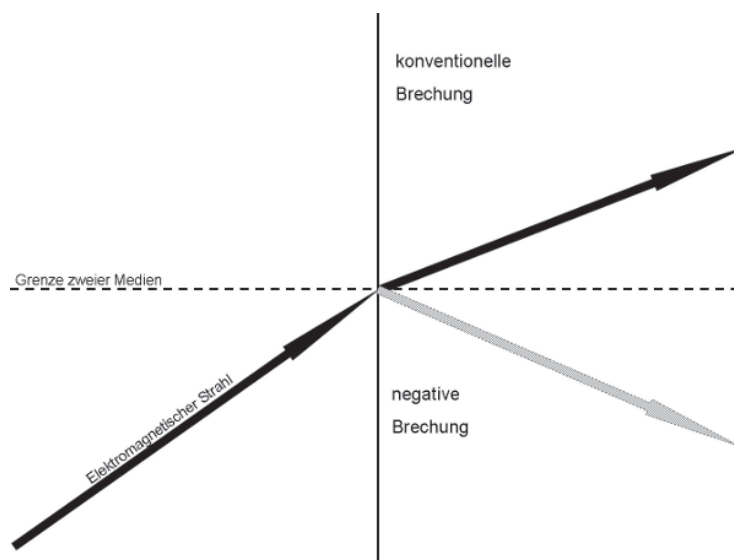


Abbildung 5.17: Modellhafte Darstellung negativer und positiver Brechung. Bei Medien mit negativem Brechungsindex bleibt der einfallende Strahl auf der gleichen Seite. (Abbildung nach Vorlage von: Zukünftige Technologien Consulting (ZTC) der VDI TZ GmbH aus Brand, 2008)

Die theoretischen Grundlagen dieses Effektes wurden zum ersten Mal im Genesisartikel

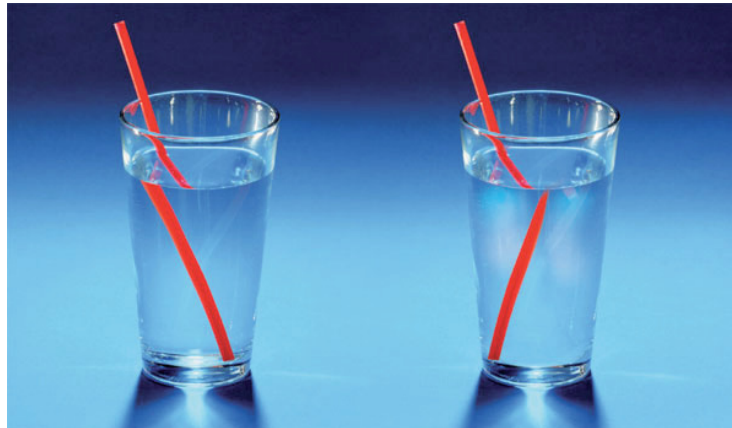


Abbildung 5.18: Illustration eines negativen Brechungsindex. Links: normales Wasser. Rechts: Fotomontage eines Wassers mit negativem Brechungsindex. (Quelle: Hess, 2008)

beschrieben. Ein Team um den britischen Physiker John Pendry hat in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts weitere theoretische Grundlagen in diesem Bereich erarbeitet und erste Anwendungsmöglichkeiten (die „Superlinse“) vorgeschlagen (Pendry, 2000). Seitdem wird verstärkt an dem Thema „Metamaterialien“ und ihren Anwendungen geforscht.

Anwendungsmöglichkeiten

Der Effekt des negativen Brechungsindex führt zu einer Reihe von möglichen Anwendungen. Mithilfe von Metamaterialien lässt sich elektromagnetische Strahlung um ein Objekt herum leiten. Würde dies mit sichtbarem Licht funktionieren, würden Metamaterialien eine Art Tarnkappe darstellen, da kein Licht von dem getarnten Objekt reflektiert oder ausgelöscht, sondern um es herum geführt werden würde. Dieser Effekt kann aber auch auf die Weise genutzt werden, dass Objekte für einen Betrachter durchsichtig gemacht werden: In einem im Jahre 2008 erteilten deutschen Patent hat sich die Daimler AG die Rechte an einer Anwendung von Metamaterialien bei Automobilen gesichert. Metamaterialien sollen dabei helfen, die „Sicht für Fahrzeuginsassen zu verbessern und somit Kollisionen des Fahrzeuges mit anderen [...] zu vermeiden“. Um dies zu bewerkstelligen, so der Autor der Patentschrift, soll um Teile der Karosserie, beispielsweise den Fahrzeugsäulen, die aus Metamaterialien bestehen, einfallendes Licht herumgeführt werden, so dass die Fahrzeuginsassen Objekte sehen, die sich hinter diesen Teilen befinden. Es handelt sich hierbei also um eine interessante Abwandlung der Tarnkappenanwendung (Judex, 2008, S. 2-3). Dies funktioniert in Ansätzen bereits, meist allerdings noch nicht für sichtbares Licht, sondern für andere elektromagnetische Strahlung wie Mikrowellen (Schurig u. a., 2006).

5 Resultate der Footprintanalyse

Eine weitere Anwendung sind sogenannte „Super-“ oder „Perfekte Linsen“. Aufgrund der negativen Brechzahlen können Linsen hergestellt werden, die ein höheres Auflösungsvermögen besitzen als solche mit normalen, positiven Brechzahlen. Andere Anwendungen versuchen die Eigenschaften von Metamaterialien zu nutzen, um Sensoren, Antennen oder Filter zu verbessern (siehe Hess, 2008 und Boeing, 2009).

Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes

Der Genesisartikel wurde von 1968 bis 1999 insgesamt nur achtmal zitiert. Für die weitere Analyse wurden deshalb die Jahre vor 1999 nicht beachtet. Ab 2000 steigt die Anzahl der Zitierungen jedoch stark an. Dies hängt mit der Veröffentlichung eines weiteren Papers zusammen. Wie bereits oben beschrieben konnte im Jahr 2000 John Brian Pendry die theoretischen Grundlagen von Veselago in eine konkrete Anwendung umsetzen. Er war der erste, der ein Material mit negativen Brechzahlen herstellte. Pendrys Artikel ist damit ein klassischer „Prinz“, der Veselagos Artikel (eine „Sleeping Beauty“) „wach geküsst“ hat (siehe 4.1). Ein Blick auf die Anzahl der Paper, welche Veselagos Genesisartikel von 1999 bis 2008⁷ zitieren, zeigt deutlich, dass das Interesse an dem Artikel über die Jahre stark gestiegen ist. Im Jahr 2008 zitieren aber weniger Artikel den Genesisartikel als noch 2007 (siehe Abbildung 5.19).

Diese Kurve lässt sich auf verschiedene Arten interpretieren. Zum einen ist es möglich, dass sich das starke Interesse an dieser Technologie inzwischen abkühlt und abnimmt. Dies würde bedeuten, dass diese Technologie in der nahen Zukunft nicht mehr von großem Interesse für die Fraunhofer-Gesellschaft sein wird. Berücksichtigt man jedoch die häufig auftretenden Artikel zu dem Thema in den Tageszeitungen, dann ist es möglich, dass ein erster Sättigungswert eingetreten ist, der bald von einem erneuten starken Wachstum abgelöst wird (ein Double-Boom, wie Schmoch u. Frietsch, 2006 ihn beschreiben). Die Abnahme der zitierenden Publikationen nach 2007 ließe sich aber auch noch anders erklären: Möglicherweise treten mit zunehmendem Alter des Genesisartikels andere Publikationen (zum Beispiel die von Pendry) an seine Stelle. Ein Blick auf Pendrys Paper aus dem Jahre 2000 und seine Zitationszahlen relativiert diese Erklärung allerdings wieder. Dieses Paper wurde im Jahr 2007 von 458 Publikationen zitiert (Stand: 20. Juli 2010), im Jahr 2008 jedoch nur von 438. Damit hat auch hier nach 2007 eine Abnahme der Zitationszahlen stattgefunden.

⁷Die Zahlen für 2009 sind sehr viel niedriger als für 2008, was dafür spricht, dass zum Zeitpunkt des Downloads noch nicht alle Publikationen im Web of Science indexiert waren. Das Jahr 2009 wurde aus diesem Grunde bei der weiteren Analyse nicht berücksichtigt.

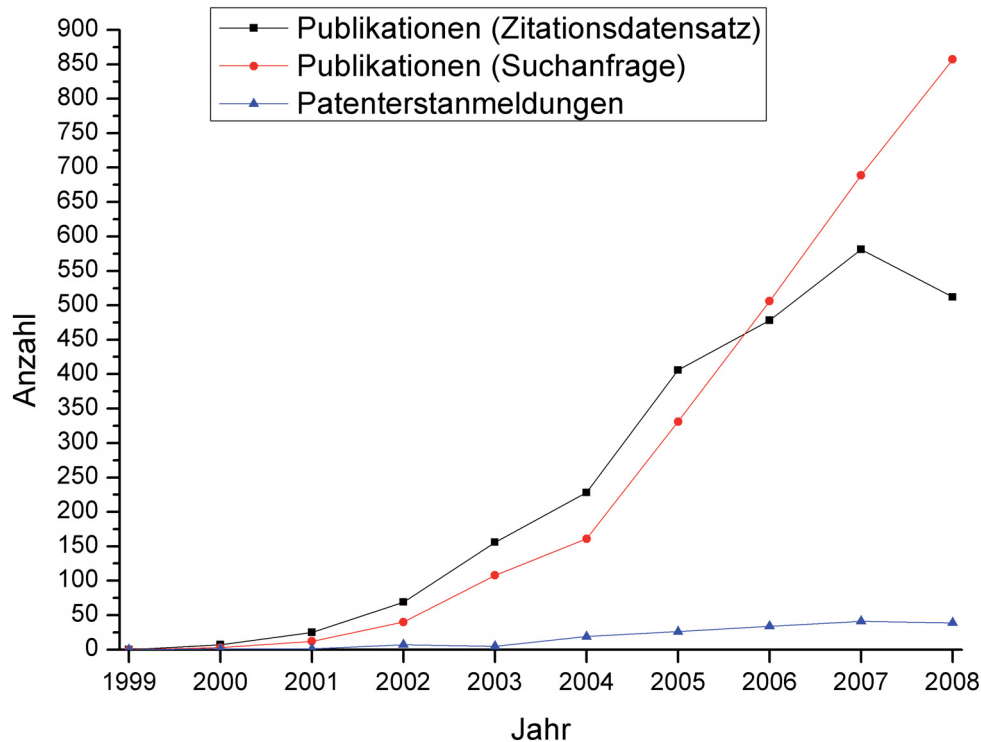


Abbildung 5.19: Überblick der Wachstumskurven für das Thema Metamaterialien

Ein Blick auf die Zuwachsraten der einzelnen Jahre zeigt, dass vom Jahr 2004 auf das Jahr 2005 der größte Zuwachs stattgefunden hat (ein Plus von 178 Publikationen). Von 2005 auf 2006 fällt diese Zahl auf 72 Publikationen, und im Jahr 2007 steigt sie wieder auf 103 Publikationen. Auch dies könnte als Hinweis auf einen zweiten, zu erwartenden Boom interpretiert werden.

Schlagwortanalyse

Von den Autoren des Zitationsdatensatzes wurden im betrachteten Zeitraum 1709 verschiedene Keywords (nach der Stemming-Prozedur) vergeben. Die Top-40 Keywords, nach Anzahl gelistet, finden sich in Tabelle 5.7.

Es fällt auf, dass sich in der Tabelle einige Keywords befinden, die aus Sicht der Bedeutung und des Inhalts zusammen gehören, wie zum Beispiel „left hand materi“ (Rang 2) und „left hand medium“ (Rang 7). Im hier betrachteten Thema „Metamaterialien“ handelt es sich dabei um Synonyme. Da eine solche Zusammenfassung der Synonyme aber für jede untersuchte Technologie oder Entdeckung einzeln vorgenommen werden müsste, wurde sie in der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt. Die „Zahlen“ (Rang 9) stellen eine Beson-

5 Resultate der Footprintanalyse

Tabelle 5.7: Tabelle der Schlagwörter für das Thema Metamaterialien

Rang	Schlagwort (nach Stemming)	Anzahl der Nennungen
1	metamateri	340
2	left hand materi	156
3	neg refract	132
4	photon crystal	114
5	neg refract index	80
6	split ring reson	57
7	left hand medium	55
8	left hand metamateri	49
9	„Zahlen“	41
10	neg permeabl	39
11	period structur	36
12	backward wave	29
13	left hand	29
14	transmiss line	29
15	neg permitt	28
16	neg index materi	26
17	superlen	22
18	waveguid	22
19	composit right left hand transmiss line	21
20	doubl neg materi	21
21	neg index of refract	21
22	composit right left hand	17
23	leaki wave antenna	17
24	left hand transmiss line	16
25	singl neg materi	16
26	neg phase veloc	15
27	plasmon	15
28	antenna	14
29	fdtd	14
30	surfac wave	14
31	coplanar waveguid	12
32	neg index	12
33	permitt	12
34	subwavelength imag	12
35	dispers relat	11
36	doubl neg medium	11
37	evanesc wave	11
38	ferrit	11
39	finit differ time domain method	11
40	refract index	11

derheit dar, da sie keinen näheren Informationsgehalt haben. Sie lassen sich vermutlich auf Indexierungsfehler zurückführen. Auf Rang 27 findet sich außerdem ein den Metamaterialien verwandtes Thema. Hinter „plasmon“ steckt das Feld der „Plasmonik“, welches neben Biosensoren noch andere mögliche Anwendungen wie die Verbesserung von Solarzellen und Mikrochips beinhaltet.

Bibliometrische Patentanalyse

Mithilfe eines Werkstoffwissenschaftlers am Fraunhofer INT wurden innerhalb der gesamten Schlagwörterliste 56 identifiziert, die für das Thema Metamaterialien charakteristisch sind. Anhand dieser Keywords wurde die Suchanfrage für die Patentsuche erstellt:

```
ts=("metamateri*") OR ts=("left hand* materi*") OR (ts=("negati* permeabil*") AND ts=("negat* permitt*")) OR ts=("negat* index materi*") OR ts=("doubl* negat* materi*") OR ts=("meta-materi*")
```

Insgesamt wurden damit 178 Patente gefunden. Der Verlauf der Patenterstanmeldungen über die Jahre deutet auf einen ähnlichen, wenn auch schwächeren, Verlauf wie im Zitationsdatensatz (siehe Abbildung 5.19) hin, da insgesamt relativ wenige Patentfamilien (2007 sind es nur 41) zu dem Thema existieren.

Analyse der Zitationen auf die Nicht-Patent-Literatur

Die Analyse der NPL-Zitationen (siehe Tabelle 5.8) zeigt, dass der Anteil der Zitationen im Patentdatensatz, die auf den Zitations- und den Suchanfragedatensatz verweisen, hoch ist. Insgesamt gibt es im Patentdatensatz 178 Patentfamilien mit insgesamt 462 NPL-Zitationen. Es konnten nur 54 Patente, welche überhaupt NPL-Zitationen aufweisen (30,34%), nachgewiesen werden. Inklusive der Zitationen auf andere Patente weist der Patentdatensatz 1256 Zitationen auf. Der Anteil der NPL-Zitationen beträgt damit 36,78%. Es liegen Science Linkage Werte von 2,6 (bezogen auf alle Patente) und 8,56 (bezogen auf Patente mit NPL-Zitationen) vor. Alle diese Werte sprechen für eine überdurchschnittlich hohe Wissenschaftsbindung dieses Themas. Nach Schmoch (1997, S. 108) hat das Themengebiet „Materials“ ebenfalls eine hohe Wissenschaftsbindung (siehe 4.2.3 und dort Abbildung 4.4). Dies spricht für einen möglichen Double-Boom-Zyklus, dem dieses Thema in der Zukunft folgen könnte. 229 der 462 NPL-Zitationen (49,57%) beziehen sich auf Publikationen im Zitationsdatensatz (in dem sich inklusive des Genesisartikels 2639 Publikationen befinden). Von den 178 Patentfamilien beziehen sich 46 auf Publikationen aus

Tabelle 5.8: Analyse der NPL-Zitationen, die auf die beiden Datensätze zum Thema Metamaterialien weisen.

Patentdatensatz (178 Patentfam.):	
Patentfam. mit NPL-Zit. 54	NPL-Zitationen 462
Science Linkage (Alle Pat.) 2,6	Science Linkage (Pat. mit NPL) 8,56
Zitationsdatensatz <i>D</i> (2639 Publikationen):	
Zitate auf <i>D</i> 229	Anteil (an allen NPL-Zit.) 49,57%
Patentfam. mit Zit. auf <i>D</i> 46	Anteil (an Pat. mit NPL) 85,19%
Suchanfragedatensatz <i>S</i> (3769 Publikationen):	
Zitate auf <i>S</i> 215	Anteil (an allen NPL-Zit.) 46,54%
Patentfam. mit Zit. auf <i>S</i> 47	Anteil (an Pat. mit NPL) 87,04%

dem Zitationsdatensatz. Bezogen auf alle Patentfamilien mit NPL-Zitationen (54) liegt der Anteil damit bei 85,19%. Auf den Genesisartikel beziehen sich insgesamt vier Zitationen. Am häufigsten zitiert wird ein wissenschaftlicher Artikel aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaft (24-mal), am zweithäufigsten ein Konferenzbeitrag (15-mal). Pendry's Arbeit aus dem Jahr 2000, in der zum ersten Mal eine konkrete Anwendung für Metamaterialien beschrieben wird, wurde siebenmal zitiert.

Im Suchanfragedatensatz ist eine ähnliche Tendenz zu beobachten. Auf Publikationen aus diesem Datensatz verweisen 215 NPL-Zitationen (46,54%) aus 47 Patentfamilien (87,04%, bezogen auf alle Patente mit NPL-Zitationen). Hier werden am häufigsten ein Artikel aus dem Jahr 2006 (21-mal) und einer aus 2007 (17-mal) zitiert. Häufig wird auch ein News Item aus dem Jahr 2003 zitiert (16-mal).

Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes

Für die Suchanfrage zum Thema „Metamaterialien“ wurde der Zugang der Universität Düsseldorf zum Web of Science genutzt. Es wurden 3769 Artikel gefunden (Stand: 09. Februar 2010). Der früheste Artikel stammt aus dem Jahr 1992. Dieser wurde in der Abbildung 5.19 jedoch vernachlässigt, da es sich um eine einzelne Publikation handelt und erst wieder im Jahr 2000 Publikationen nachgewiesen sind. Im Gegensatz zu der Wachstumskurve für den Zitationsdatensatz sind bei dieser Kurve keine Anzeichen für einen Double-Boom zu erkennen. Die Anzahl der Publikationen scheint linear zu wachsen. Betrachtet man aber die tatsächlichen Zuwachsraten der einzelnen Jahre, dann sieht man, dass der größte Zuwachs derjenige vom Jahr 2006 zum Jahr 2007 war (ein Plus von 183 Publikationen). Vom Jahre 2007 zum 2008 nimmt der Zuwachs wieder ab (168 beziehungsweise 151 Publikationen mehr). Dies könnte aber auch einfach nur ein statistischer Ausreißer sein.

Entfernt man alle Publikationen des Zitationsdatensatzes, die sich auch im Suchanfragedatensatz befinden, dann bleiben noch 1299 Publikationen übrig. Dies bedeutet, dass sich knapp 50% des Zitationsdatensatzes nicht im Suchanfragedatensatz befinden. Die Analyse der Keywords des Differenzdatensatzes weist keine großen Unterschiede zu derjenigen des kompletten Zitationsdatensatzes. Auf Rang 1 befindet sich mit 107 Nennungen weiterhin „Metamateri“. Es fällt lediglich auf, dass das Keyword „superlen“ von Rang 17 auf Rang 10 gestiegen ist. Dies ist nachvollziehbar, da Forscher, die an der Superlinse arbeiten, sinnvollerweise ebenfalls den Genesisartikel als Quelle zitieren. In der Suchanfrage wurde bewusst auf diesen Aspekt verzichtet, da das Thema zwar mit Metamaterialien verwandt ist, im engeren Sinne aber ein anderes Thema darstellt.

Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

Die zeitliche Entwicklung der Publikationszahlen der verschiedenen Institutionstypen kann wie bei diesem Thema jener der Wachstumskurven ähneln. Die Anzahl der Publikationen sowohl von grundlagen- als auch von anwendungsorientierten Institutionen im Zitationsdatensatz stagniert, beziehungsweise nimmt ab. Bei dem Datensatz der Suchanfrage wachsen die Publikationen der anwendungsorientierten Institutionen nur moderat, diejenigen der grundlagenorientierten Institutionen nimmt dagegen stark zu. Auch hier zeigt sich, dass das Thema Metamaterialien möglicherweise noch im Bereich der Grundlagenforschung verortet ist, dieses aber auch zunehmend in der angewandten Forschung bearbeitet wird.

Der Anteil der Publikationen der grundlagenorientierten Institutionen liegt, abgesehen vom Jahr 2000, im Zitationsdatensatz immer zwischen 70% und 80% Prozent aller Publikationen pro Jahr. Analog schwankt der Anteil der anwendungsorientierten Institutionen zwischen 15% und 30%, während die Institutionen mit gemischter Orientierung nie mehr als 10% aller Publikationen ausmachen. Beim Suchanfragedatensatz bietet sich ein ähnliches Bild.

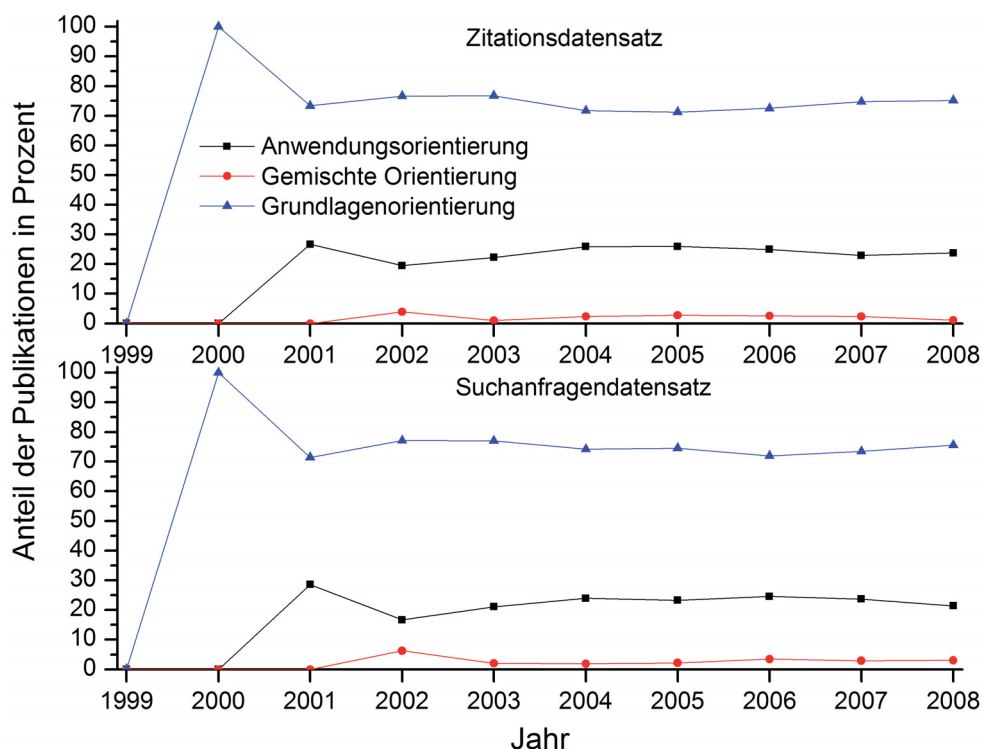


Abbildung 5.20: Zeitliche Entwicklung des Anteils am Publikationsaufkommen verschiedener Institutionstypen für das Thema Metamaterialien.

In beiden Datensätzen wächst die relative Zahl der publizierenden, anwendungsorientierten Institutionen seit 2004 stärker als jene der gemischten oder grundlagenorientierten Institutionen.

Subject-Area Quadrant-Allocation

Die Subject-Area Quadrant-Allocation für das Thema Metamaterialien zeigt, dass sich das Thema komplett in Pasteurs Quadranten befindet.

Für den Zitationsdatensatz lässt sich seit dem Jahr 2000 ein Trend ablesen, der eine Verlagerung des Themas weg von Bohrs Quadranten hin zu Edisons Quadranten zeigt. Dies spricht dafür, dass das Thema in den vergangenen Jahren eine stärkere Anwendungsorientierung bekommen hat, aber weiterhin starke Elemente der Grundlagenforschung beinhaltet.

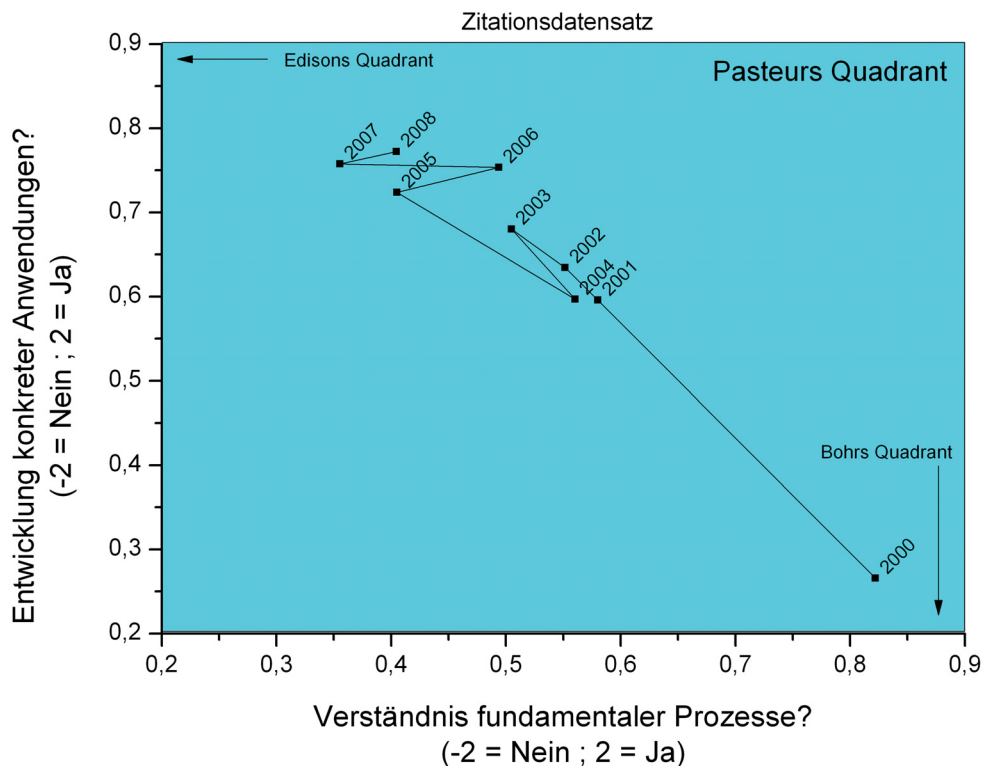


Abbildung 5.21: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Zitationsdatensatzes für das Thema Metamaterialien.

Der Datensatz der Suchanfrage (5.22) bietet ein ähnliches Bild wie der Zitationsdatensatz. Hier liegen die Punkte der einzelnen Jahre näher beieinander, aber auch dort lässt

5 Resultate der Footprintanalyse

sich feststellen, dass die Jahre 2005 bis 2008 näher an Edisons Quadranten liegen als die vorherigen Jahre.

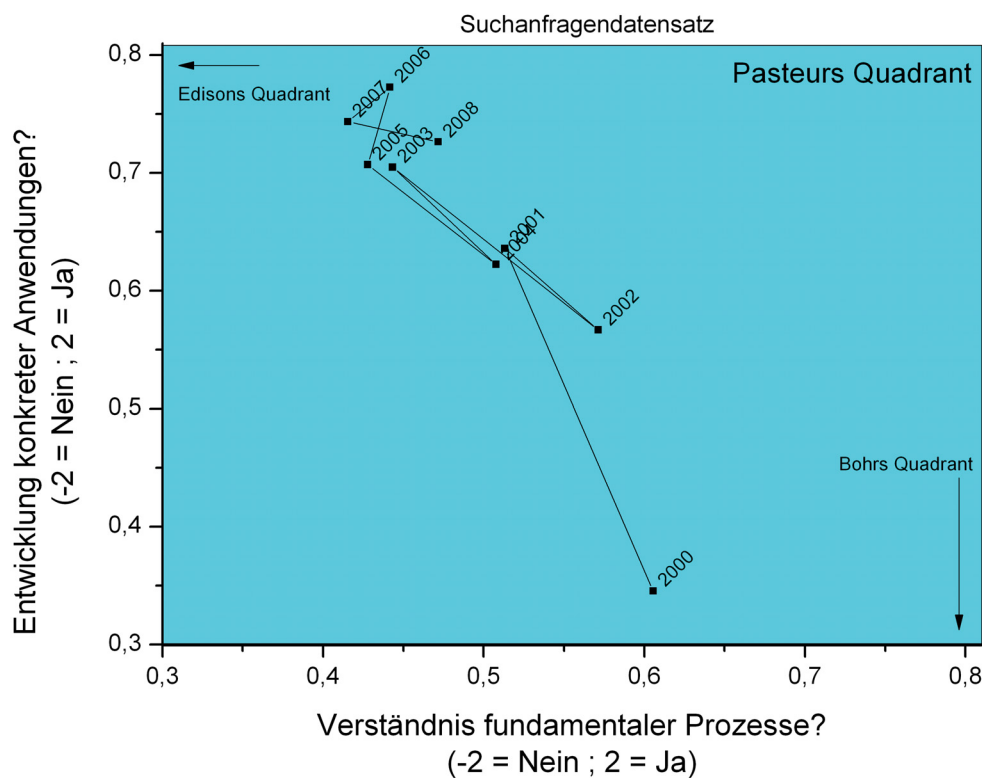


Abbildung 5.22: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Datensatzes des Suchanfragensatzes für das Thema Metamaterialien.

Vergleich mit bekannten Mustern

Betrachtet man alle drei Wachstumskurven parallel (Abbildung 5.19), ergibt sich ein interessantes Bild. Beim Datensatz der Suchanfrage scheinen nach einem jährlichen Wachstum die Publikationszahlen aktuell zu stagnieren. Allerdings ist der Höhepunkt der Zuwachsraten beim Zitationsdatensatz bereits im Jahr 2005, bei dem Datensatz der Suchanfrage jedoch erst zwei Jahre später (2007) erreicht. Der höchste Zuwachs bei den Patenten ist sogar schon im Jahr 2004 erreicht (14 Patente mehr als im Vorjahr). Danach ist die Zuwachsrate relativ stabil (jeweils 7 bis 8 Patente mehr pro Jahr). Um einen klassischen Double Boom scheint es sich hier also noch nicht zu handeln. Möglicherweise kann aber momentan der Anfang des ersten Booms beobachtet werden. Oder es handelt sich um ein Thema welches langsam, aber stabil wächst. Schmoch (2007, S. 1004) beschreibt solche

stabilen Wachstumsraten im Patentbereich in seiner Studie. Die Tatsache, dass die Publikationszahlen des Zitationsdatensatzes stagnieren, könnte aber auch ein Hinweis darauf sein, dass sich das Thema von den theoretischen Grundlagen weg entwickelt, und nun häufiger Arbeiten zitiert werden, in denen die praktische Machbarkeit von Veselagos Theorie beschrieben wird.

Zusammenfassung

Die Footprintanalyse für das Thema „Metamaterialien“ zeichnet ein gemischtes Bild. Die Aktualität des Themas lässt sich bei der Betrachtung der Wachstumskurven nur schwerlich leugnen. Sollte sich das Thema tatsächlich im ersten Boom eines Double-Boom-Zyklus befinden, dann ist davon auszugehen, dass die Spitze des ersten Booms noch nicht erreicht ist, und der zweite Boom noch ca. 15 Jahre in der Zukunft liegt. Das Thema sollte weiterverfolgt und von wissenschaftlichen Gesellschaften und öffentlichen Forschungsinstitutionen weiter bearbeitet werden. Sobald Anzeichen eines zweiten Booms zu erkennen sind, sollten auch Unternehmen wieder aktiv werden, um neue Produkte und Anwendungen auf den Markt zu bringen.

Was den Anwendungsbezug angeht, sieht das Bild jedoch anders aus. Die Anzahl der Patente, die auf Zitations- und Suchanfragedatensatz weist, ist sehr hoch: fast jede zweite NPL-Zitation und rund 85% der Patente mit NPL-Zitation. Das Thema scheint noch wenig diversifiziert zu sein, da wenige Publikationen außerhalb der Datensätze zitiert wurden. Eine Erklärung könnte sein, dass momentan noch ein Mangel an zitierbaren Patenten existiert, und deshalb soviel Nicht-Patent-Literatur zitiert werden muss. Dagegen spricht allerdings, dass nur knapp jede dritte Patentfamilie im Patentdatensatz überhaupt NPL-Zitationen aufweist.

Ein Blick auf die publizierenden Institutionen lässt erkennen, dass sowohl anwendungs- als auch grundlagenorientierte Institutionen ihre Aktivitäten innerhalb dieses Themas steigern, wobei die Anzahl grundlagenorientierter Publikationen sehr viel stärker wächst.

Die SAQAs für beide Datensätze zeigt eine Tendenz hin zu Edisons Quadranten, also zur Anwendungsorientierung. Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass der Genesisartikel nach 2007 seltener zitiert wird, da sich die Forschung nun von ihren theoretischen Grundlagen zu konkreten Anwendungen hin entwickelt. Allerdings zeigt die Analyse der Zitationszahlen für ein Paper von Pendry aus dem Jahr 2000, dass auch dieses nach 2008 weniger zitiert wurde. Im Datensatz der Suchanfrage gibt es 2008 allerdings mehr Paper als 2007. Dies könnte bedeuten, dass ein Teil der Literatur über Metamaterialien weder

Veselagos noch Pendrys Grundlagenartikel zitiert. Das Jahr 2008 befindet sich daher bei beiden SAQAs etwas weiter rechts auf der X-Achse („Verständnis fundamentaler Prozesse?“). Allerdings ist diese Verschiebung nicht sehr groß.

Insgesamt scheint dieses Thema noch zum größten Teil in der Grundlagenforschung angesiedelt zu sein. Es gibt erste Anzeichen für eine stärkere Hinwendung zum angewandten Bereich, allerdings sind diese, zumindest in den hier erhobenen Daten, noch nicht besonders stark ausgeprägt. Das Thema könnte damit zum Beispiel auch für die Fraunhofer-Gesellschaft von großem Interesse sein, da die Forschung im angewandten Bereich noch in ihren Anfängen steckt. Auch die relativ schwachen Patentaktivitäten sprechen dafür. Erkennbar ist im Zitationsdatensatz außerdem die Ausdifferenzierung des Themas in das Feld „Plasmonik“ hinein.

5.2.3 Fallstudie zum Thema „Sphärische Fullerene“

Beschreibung des Genesisartikels

Der Genesisartikel für diese Footprintanalyse stammt von Kroto u. a. (1985). Das Interessante bei diesem Genesisartikel ist, dass es sich eigentlich nicht um den ersten Artikel handelt, der das untersuchte Thema beschreibt. Das C_{60} -Molekül, welches von Kroto u. a. beschrieben wurde, wird auch als „soccer-ball C_{60} “ bezeichnet. Die mögliche Existenz eines solchen „soccer-ball“ schilderte der japanische Wissenschaftler Eiji Osawa bereits 1970 (15 Jahre vor Kroto u. a.) in einem Artikel. Dieser wurde allerdings erst Jahrzehnte später in Europa und Amerika wahrgenommen (Siehe Osawa, 1970. Der Artikel ist auf Japanisch wird aber zum Beispiel auch bei Osawa, 1993 genannt.). Kroto u. a. stellten klar, nachdem sie von diesem japanischen Artikel erfahren hatten, dass Osawa die theoretischen Grundlagen für das C_{60} -Molekül gelegt hatte. Ihnen war die Existenz dieses Artikels nicht bekannt gewesen. In einem Artikel beschreiben sie, wie sie von Osawas Artikel erfuhren (Kroto u. a., 2001, S. 185):

„Thus, the knowledge of Osawa’s original conception of C_{60} came to us not through any scholarly search of the literature, but rather through a series of personal contacts [...]. Our experience is that personal contacts are the most likely route through which scientific information is transmitted. [...] [W]hy did we not find this prior reference to the subject? Frankly, any search that we did was cursory; I think we believed that the concept was so novel that it had never been put forth previously, a belief that proved to be clearly wrong.“

Diese Aussage widerspricht der Theorie, die den Footprints und dem Zitationsprozess zugrunde liegt und trifft in Einzelfällen sicherlich zu. Wegen der Menge der wissenschaftlichen Artikel ist es aber weiterhin, wie auch in Kapitel 2) beschrieben, so, dass Wissenschaftler ihr Wissen auch über wissenschaftliche Artikel beziehen und dieses über Zitationen kenntlich machen. Osawa selbst hat sich mit diesen Worten geäußert (Osawa, 1993, S. 6):

„No scientific discovery seems to be totally new, as has been discussed superbly well by Berson [...] with reference to the discovery of the Diels-Alder reaction and the Woodward-Hoffman rule. In the case of C_{60} , the 'near misses' by Ijima [...] and the unpublished work by Chapman [...], are more pre-eminent examples of the precedents than those described above.“

Der Tatsache entsprechend, dass Osawas Artikel im Westen erst Jahre später wahrgenommen wurde, findet man seinen Artikel auch nicht im Web of Science. Der Genesisartikel von Kroto u. a. wurde dagegen über 6770-mal zitiert (Stand: 19. Mai 2010). Kroto und zwei seiner Mitautoren bekamen 1996 den Nobelpreis in Chemie für die Entdeckung dieses Moleküls zugesprochen. Damit ist dieser Artikel der maßgebliche für die vorliegende Footprintanalyse. Für diese Analyse wurden alle verfügbaren Indizes des Web of Science, die über den Zugang der Fraunhofer-Gesellschaft zur Verfügung stehen, genutzt.

Beschreibung der Technologie/Entdeckung

Fullerene sind nach dem Architekten und Erfinder Buckminster Fuller benannt. Er wurde von den Autoren des Genesisartikels als Namenspatron gewählt weil das C_{60} Molekül, welches ein Buckminsterfulleren darstellt, an seine Kuppelkonstruktionen erinnert. Der Begriff „Fullerene“ bezeichnet allgemein die Familie der Fullerene, deren Mitglied das Buckminsterfulleren ist. Die sechzig Kohlenstoffatome des Buckminsterfullerens bilden 12 Fünfecke und 20 Sechsecke. Die Form dieses Moleküls erinnert somit an einen Fußball (siehe Abbildung 5.23). Diese Molekülgruppe wird seit ihrer Entdeckung durch Kroto u. a. intensiv erforscht (Kohlhoff, 1998).

Anwendungsmöglichkeiten

Für die Fullerene gibt es erste Ansätze für mögliche Anwendungen, zum Beispiel bei der Medikamentenverabreichung, als Bestandteil von Kosmetikartikeln oder im Bereich der Nahrungsmittelergänzungen.⁸ Diese Ansätze befinden sich jedoch noch in frühen Stadien.

⁸Siehe zum Beispiel: <http://www.vc60.com/english/index.html> (abgerufen am 01. August 2010)

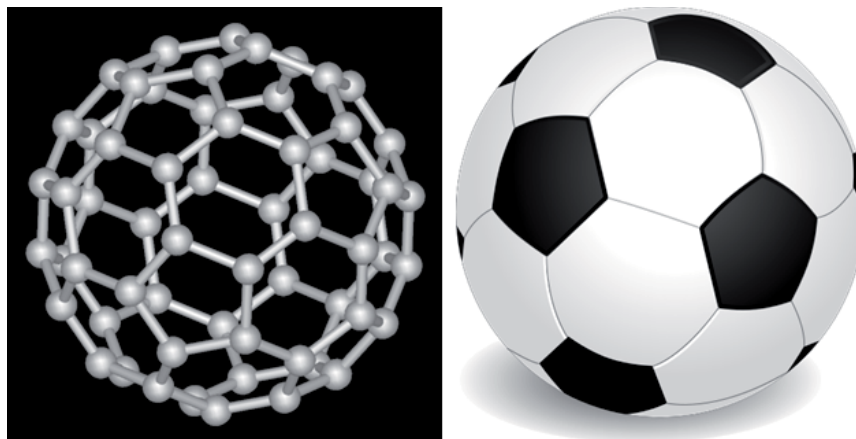


Abbildung 5.23: Der Aufbau eines Buckminsterfullerens (links) verglichen mit der Form eines Fußballs (rechts). (Quelle: Spanisch- beziehungsweise deutschsprachige Wikipedia, Eintrag „Fullereno“ beziehungsweise „Fullerene“; abgerufen am 08. August 2011)

Ein großer Teil der Artikel des Zitationsdatensatzes beschäftigt sich interessanterweise mit sogenannten Nanoröhren. Diese Moleküle sind ebenfalls Fullerene. Man nennt sie auch „zylindrische Fullerene“, und sie unterscheiden sich damit von den ursprünglich entdeckten und hier untersuchten „sphärischen Fullerenen“. Erstere wurden bereits 1952 durch sowjetische Forscher beschrieben und abgebildet (Radushkevich u. Lukyanovich, 1952). Die Entdeckung der Röhren wird aber meist Iijima (1991) zugesprochen, da der sowjetische Artikel, ähnlich wie der japanische Artikel von Osawa über die theoretischen Grundlagen der Fullerene, kaum wahrgenommen wurde (zur Diskussion über die Entdeckung der Nanoröhren siehe Monthieux u. Kuznetsov, 2006). Ijimas Artikel ist dagegen über 9200-mal zitiert worden (Stand: 03. März 2010) und könnte auch als Genesisartikel für eine eigene Footprintanalyse dienen, obwohl er, analog zu Krotos Artikel, nicht als erster die Nanoröhren beschrieben hat. Shibata u. a. (2009) sehen Ijimas Artikel ebenfalls als „Core paper“ für das Thema „Nanoröhren“. In der vorliegenden Arbeit wird Ijimas Artikel als Teil des Zitationsdatensatzes für die Fullerene genutzt. Nanoröhren zeichnen sich durch ihre elektrischen Eigenschaften für eine mögliche alternative Form der Stromgewinnung, eine hohe Wärmeleitfähigkeit sowie durch große Festigkeit aus. Ihnen werden von Forschern viele Anwendungsmöglichkeiten zugesprochen, beispielsweise im Bereich der Datenspeicherung oder bei der Brennstoffzelle. Weitere Anwendungen sind zum Beispiel im Bereich von Schutzkleidung, Architektur, Solarzellen, Batterien oder Supraleitern denkbar (siehe zum Beispiel Dalton u. a., 2003, Ota, 2002, Tang u. a., 2001 und Brand u. a., 2009, S. 43-112). Bereits Anwendung gefunden haben sie bei Sportgeräten wie „Angelruten, Hockey-, Golf-

oder Baseballschlägern“ (Honsel, 2010, S 63).

Bibliometrische Analyse des Zitationsdatensatzes

Bereits für das Jahr 1986 (ein Jahr nach der Veröffentlichung des Genesisartikels) können 44 Zitationen nachgewiesen werden (siehe Abbildung 5.24). Bis zum Jahr 1990 bewegen sich die Zitationszahlen auf einem ähnlichen Niveau. Nach 1990 schnellen die Zitationszahlen hoch bis zum bisherigen Höchstwert von 461 Zitationen im Jahr 1993. Diese Steigerung der Zitationszahlen könnte mit der Veröffentlichung von Iijimas Artikel im Jahr 1991, aber auch mit einem Artikel von Krätschmer u. a. (1990), zusammenhängen. In letzterem wird ein Verfahren zur Herstellung von Fullerenen beschrieben. Die Entdeckung dieses Verfahrens und der Nanoröhren ist eine wahrscheinliche Erklärung für die starke Zunahme der Zitationen ab 1991. Nach 1993 nimmt die Anzahl der Zitationen zunächst ab, bis im Jahr 2003 mit 272 Zitationen zwar immer noch eine hohe Zahl nachgewiesen werden kann, verglichen mit dem Höchstwert von 1993 sind dies aber nur rund 40% weniger. Seitdem nimmt die Anzahl der Zitationen wieder zu (abgesehen vom Jahr 2007, in dem die Zahl kleiner ist als 2006 und 2008). Im Jahr 2009 setzten 387 Publikationen eine Zitation auf den Genesisartikel und damit etwas weniger als 2008. Da der heruntergeladene Zitationsdatensatz vom Mai 2010 stammt, erscheint es möglich, dass einige Publikationen aus 2009 noch nicht im Web of Science indexiert sind. Es kann sich aber auch um eine ähnliche Abnahme wie schon im Jahr 2007 handeln. Die Ergebnisse der Berechnung des gleitenden Mittelwertes für jede der Wachstumskurven zeigen deutlich, dass sich eine zweite Wachstumskurve beim Zitations- und Suchanfragedatensatz andeutet, beim Patentdatensatz dagegen nicht. Bei diesem ist, ähnlich wie bei den anderen Footprintanalysen der vorliegenden Arbeit, davon auszugehen, dass die Indexierung für das Jahr 2009 noch nicht abgeschlossen ist.

Schlagwortanalyse

Von den 6758 Publikationen des Zitationsdatensatzes weisen 2278 Einträge im Feld der Autorenschlagwörter auf. Nach dem Stemming existieren noch 4841 einzigartige Keywordstämme. Wie erwartet, befindet sich der Stamm „fulleren“ an der Spitze der Keywordliste mit 782 Nennungen (siehe Tabelle 5.9). Bereits auf Platz drei finden sich aber auch schon die Kohlenstoffnanoröhren („carbon nanotub“) mit 182 Nennungen. Auch das Keyword auf Platz vier („nanotub“, 95 Nennungen) kann den Kohlenstoffröhren zugeordnet werden. Außerhalb der Top-40 ist auch das Keyword „Graphen“ mit 17 Nennungen anzutreffen. Dieses Thema ist aus dem Thema Nanoröhren hervorgegangen und besitzt damit einen indirekten

5 Resultate der Footprintanalyse

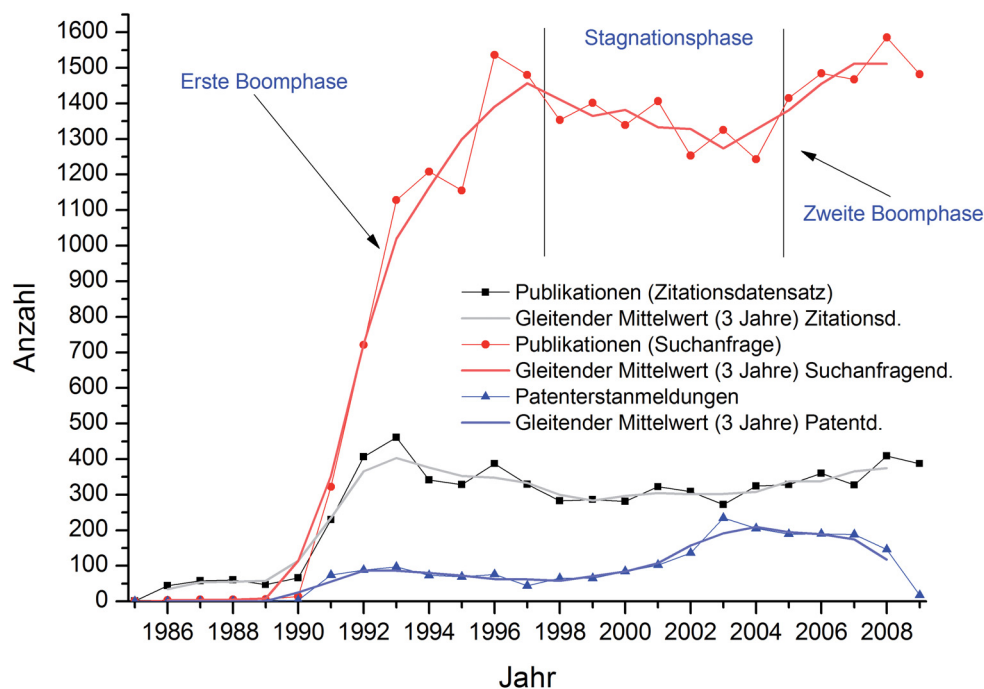


Abbildung 5.24: Überblick der Wachstumskurven für das Thema sphärische Fullerene. Für jede Kurve wurde außerdem der gleitende Durchschnitt über 3 Jahre berechnet.

Bezug zu den sphärischen Fullerenen (zu Graphen siehe Reschke u. a., 2008a, S.36-37).

Bibliometrische Patentanalyse

Für die Suchanfrage wurden nur jene Schlagwörter ausgewählt, die sich mit dem Thema „Sphärische Fullerene“ beschäftigen und in der Schlagwortliste auftauchen. Das Schlagwort „Footballene“ wurde nicht einbezogen, da es nicht in der Liste auftaucht. Es wurde von einem an der Analyse beteiligten Chemiker des Fraunhofer INT erwähnt. Mit diesem Schlagwort konnten allerdings keine zusätzlichen Patente, jedoch 12 weitere Publikationen im Suchanfragendatensatz gefunden werden, so dass die Einfügung dieses Suchterms keinen großen Einfluss auf die Ergebnisse hätte. Das große Feld der Nanoröhren (also zylindrische Fullerene) ist zwar verwandt mit diesem Thema, eignet sich aber aufgrund des bereits identifizierten Genesisartikels von Iijima (1991) und der zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten für eine eigenständige zukünftige Footprintanalyse. Deshalb wurden Schlagwörter, die sich mit zylindrischen Fullerenen beschäftigen, aus der Suchanfrage ausgeschlossen.

Mithilfe eines Chemikers und eines theoretischen Physikers des Fraunhofer INT wurde aus den Keywords folgende Suchanfrage für den Derwent Innovations Index zusammengestellt:

Tabelle 5.9: Tabelle der Schlagwörter für das Thema Fullerene

Rang	Schlagwort (nach Stemming)	Anzahl der Nennungen
1	fulleren	782
2	c	246
3	carbon nanotub	182
4	nanotub	95
5	carbon	87
6	nanostructur	86
7	densiti function theori	62
8	electron structur	52
9	graphit	50
10	nanoparticl	47
11	electron microscopi	44
12	cluster	42
13	raman spectroscopi	39
14	x rai diffract	37
15	nanomateri	36
16	transmiss electron microscopi	36
17	molecular dynam	34
18	thin film	34
19	chemic vapor deposit	33
20	buckminsterfulleren	32
21	synthesi	32
22	ab initio calcul	31
23	structur	31
24	arc discharg	30
25	nanotechnologi	30
26	boron nitrid	29
27	carbon cluster	29
28	dft	29
29	stabil	29
30	laser ablat	28
31	mass spectrometri	28
32	diamond	27
33	electron properti	27
34	scan tunnel microscopi	25
35	self assembli	23
36	aromat	22
37	crystal structur	22
38	fulleren c	22
39	molecular process	22
40	pyrolysi	22

5 Resultate der Footprintanalyse

```
(ts=fulleren* OR ts=buckminsterfulleren* OR ts=buckybal* OR ts= metal-  
lofulleren* OR ts=heterofulleren* OR ts=carboxyfulleren* OR ts=azafulleren*  
OR ts=fulleran* OR ts=fulleroid* OR ts=fullerol* OR ts=fulleropyr* OR  
ts=hydrofulleren* OR ts=azamethanofulleren* OR ts=fullerite* OR ts= me-  
thanofulleren* OR (ts=c?60 SAME (ts=semiconductor* OR ts=molecul* OR  
ts=conduct* OR ts=crystal*))) NOT (ts=co60 OR ts=cu60 OR ts=nanotub*  
OR ts=carbon tub* OR ts=buckytub* OR ts=zebrafish)
```

Damit wurden 2147 Patente gefunden (Stand: 26. Juli 2010). Die Wachstumskurve für die Patenterstanmeldungen zeigt einen interessanten Trend: Nach 1997 steigt die Zahl der Patenterstanmeldungen kontinuierlich bis zu einem Höchstwert von 234 Patenterstanmeldungen im Jahr 2003 an. Seitdem nimmt diese Zahl wieder ab.

Analyse der Zitationen auf die Nicht-Patent-Literatur

Im NPL-Feld des Patentdatensatzes finden sich insgesamt 6976 Zitationen auf NPL aus 535 Patenten. Damit beträgt der Anteil der NPL-Zitationen an allen Zitationen des Patentdatensatzes (15735 Zitationen) 44,33%. Der Anteil der Patente mit NPL-Zitationen an allen Patenten des Datensatzes beträgt 24,92%. Die Science Linkage liegt damit bei 3,25 (bezogen auf alle Patente) und 13,04 (bezogen auf Patente mit NPL-Zitationen). Ordnet man dieses Thema dem weiten Feld der Chemie zu, dann sind diese Werte über dem Durchschnitt (siehe 4.2.3 und dort Tabellen 4.1, 4.2 und 4.4). Damit scheint eine durchschnittliche bis hohe Wissenschaftsbindung gegeben zu sein. Von den 6976 NPL-Zitationen weisen 606 (8,69%) auf den Zitationsdatensatz und 1097 (15,73%) auf den Suchanfragensdatensatz. Damit zitieren von den 2147 Patenten im Patentdatensatz 143 (26,73% bezogen auf alle Patente mit NPL-Zitationen) den Zitationsdatensatz und 220 (41,12% bezogen auf alle Patente mit NPL-Zitationen) den Suchanfragensdatensatz (siehe Tabelle 5.10).

Die Bindung der Patente an den Suchanfragensdatensatz ist damit sowohl bei den Zitationen als auch bei den Patentfamilien höher als beim Zitationsdatensatz. Dies deutet darauf hin, dass im Zitationsdatensatz Publikationen vorhanden sind, die sich nicht mit sphärischen Fullerenen, sondern mit anderen Themen beschäftigen.

Aus dem Zitationsdatensatz wird am häufigsten (44-mal) der Artikel von Kratschmer über die bessere Herstellung von Fullerenen zitiert. Am zweithäufigsten (28-mal) wird der Genesisartikel zitiert. Auf dem dritten Platz (22 Zitationen) findet sich ein wissenschaftlicher Artikel über die „Efficient Production of C60 (Buckminsterfullerene), C60H36, and

Tabelle 5.10: Analyse der NPL-Zitationen, die auf die beiden Datensätze zum Thema sphärische Fullerene weisen.

Patentdatensatz (2147 Patentfam.):	
Patentfam. mit NPL-Zit. 535	NPL-Zitationen 6976
Science Linkage (Alle Pat.) 3,25	Science Linkage (Pat. mit NPL) 13,04
Zitationsdatensatz <i>D</i> (6771 Publikationen):	
Zitate auf <i>D</i> 606	Anteil (an allen NPL-Zit.) 8,69%
Patentfam. mit Zit. auf <i>D</i> 143	Anteil (an Pat. mit NPL) 26,73%
Suchanfragedatensatz <i>S</i> (25.828 Publikationen):	
Zitate auf <i>S</i> 1097	Anteil (an allen NPL-Zit.) 15,73%
Patentfam. mit Zit. auf <i>S</i> 220	Anteil (an Pat. mit NPL) 41,12%

5 Resultate der Footprintanalyse

the solvated Buckide“ aus dem Jahre 1990. Dass Patentfamilien wissenschaftliche Publikationen zitieren, die sich mit der Produktion von Fullerenen beschäftigen, erscheint sinnvoll. Im Suchanfragedatensatz ist der Genesisartikel derjenige mit den meisten Zitationen. Auf dem zweiten Platz befindet sich der Artikel über die effiziente Produktion von Buckminsterfullerenen, welcher im Zitationsdatensatz auf dem dritten Platz liegt. Auf dem dritten Platz (20 Zitationen) schließlich findet sich ein wissenschaftlicher Artikel aus dem Jahr 1991 mit dem schlichten Titel „Fullerenes“. Die Publikation von Ijima über die Nanoröhren wird im Zitationsdatensatz sechsmal zitiert.

Eine Reihe von Publikationen, die von den Patentfamilien fünfmal zitiert werden, aber nicht im Zitationsdatensatz enthalten sind, stammen ebenfalls aus wissenschaftlichen Zeitschriften und handeln von Fullerenen. Allerdings beziehen sich diese Publikationen nicht mehr auf den Genesisartikel.

Bibliometrische Analyse des Suchanfragedatensatzes

Mithilfe der Suchanfrage konnten im Web of Science 25.828 Publikationen gefunden und heruntergeladen werden (Stand: 15. Februar 2011). Die Wachstumskurve (siehe Abbildung 5.24) zeigt einen ähnlichen Verlauf wie der Zitationsdatensatz, allerdings auf höherem Niveau, außerdem schwanken die Zahlen ein wenig stärker, und der Anstieg der Publikationszahlen nach der Entdeckung von Ijima im Jahr 1991 ist sehr viel stärker. Anders als beim Zitationsdatensatz steigen die Publikationszahlen nach 2004 wieder an. Eine solche Wachstumskurve lässt sich nach Schmoch (2007) einteilen in eine erste Boomphase, gefolgt von einer Stagnations- und einer zweiten Boomphase.

Entfernt man alle Publikationen des Zitationsdatensatzes, die sich auch im Suchanfragedatensatz befinden, dann bleiben noch 3156 Publikationen übrig. Dies bedeutet, dass sich knapp 47% des Zitationsdatensatzes nicht im Suchanfragedatensatz befinden. Eine Analyse der Keywords des Differenzdatensatzes zeigt, dass, wie erwartet, Schlagwörter aus dem Bereich der Nanoröhren sehr oft vorkommen. „Carbon nanotub“ befindet sich mit 183 Nennungen auf Rang 2 und „nanotub“ mit 95 Nennungen auf Rang 3. Allerdings hat „Fulleren“ mit 190 Nennungen weiterhin Rang 1 inne. Ein Blick in den Differenzdatensatz erklärt dies: Die meisten Publikationen, welche „Nanoröhren“ als Keyword aufweisen, haben ebenfalls „Fullerene“ als Keyword. Dies war schon im kompletten Zitationsdatensatz der Fall. „Graphen“ ist mit 16 Nennungen auf Rang 28, im kompletten Zitationsdatensatz jedoch auf Rang 54. Eine weitere thematische Ausdifferenzierung lässt sich nicht erkennen.

Bibliometrische Analyse der Forschungsorientierung publizierender Institutionen

Die Analyse der publizierenden Institutionen (siehe Abbildung 5.25) zeigt, dass der Großteil aus der Grundlagenforschung stammt. Sowohl die anwendungsorientierten Institutionen als auch jene mit gemischter Orientierung steigern ihre absoluten Publikationszahlen nur moderat.

Betrachtet man bei den beiden Datensätzen die Verteilung der Publikationen nach Institutionstyp dann zeigt sich ein ähnliches Bild. Im Zitationsdatensatz fällt der Anteil der grundlagenorientierten Gruppe seit 1990 von über 90% auf einen Wert um die 80%, während die anwendungsorientierte Gruppe in dieser Zeit fast durchgängig einen Anteil zwischen 10% und 20% aufweist. Insgesamt bleibt die Verteilung aber stabil. Im Suchanfragedatensatz lässt sich dagegen eine langsame Abnahme des Anteils der grundlagenorientierten und eine Zunahme der anwendungsorientierten Gruppe feststellen.

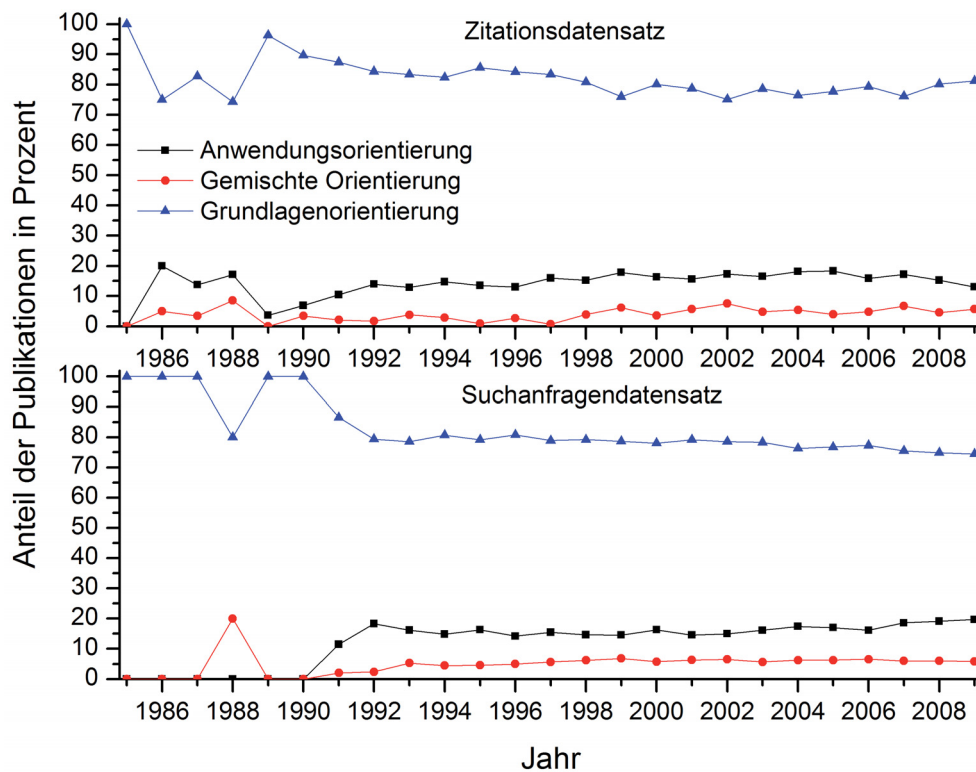


Abbildung 5.25: Zeitliche Entwicklung des Anteils am Publikationsaufkommen verschiedener Institutionstypen für das Thema sphärische Fullerene.

Relativ gesehen wächst seit dem Jahr 2000 der Anteil der publizierenden Institutionen im Bereich der angewandten Forschung in beiden Datensätzen ein wenig stärker, als der der beiden anderen Gruppen. Der Anteil der grundlagenorientierten Institutionen nimmt

5 Resultate der Footprintanalyse

ab, allerdings sehr langsam. Im Suchanfragensatz fällt der Anteil von über 95% im Jahr 1989 auf knapp über 76% im Jahr 2007.

Subject-Area Quadrant-Allocation

Bei der SAQA für den Zitationsdatensatz lässt sich ein eindeutiger Trend feststellen: Das Thema sphärische Fullerene beginnt an der Grenze zu Bohrs Quadranten, und damit relativ weit weg vom Gebiet der Grundlagenorientierung, und bewegt sich dann langsam aber stetig in Richtung der Mitte von Pasteurs Quadranten. Dies lässt sich möglicherweise mit der Literatur erklären, die sich mit Nanoröhren (beziehungsweise zylindrische Fullerene) beschäftigt.

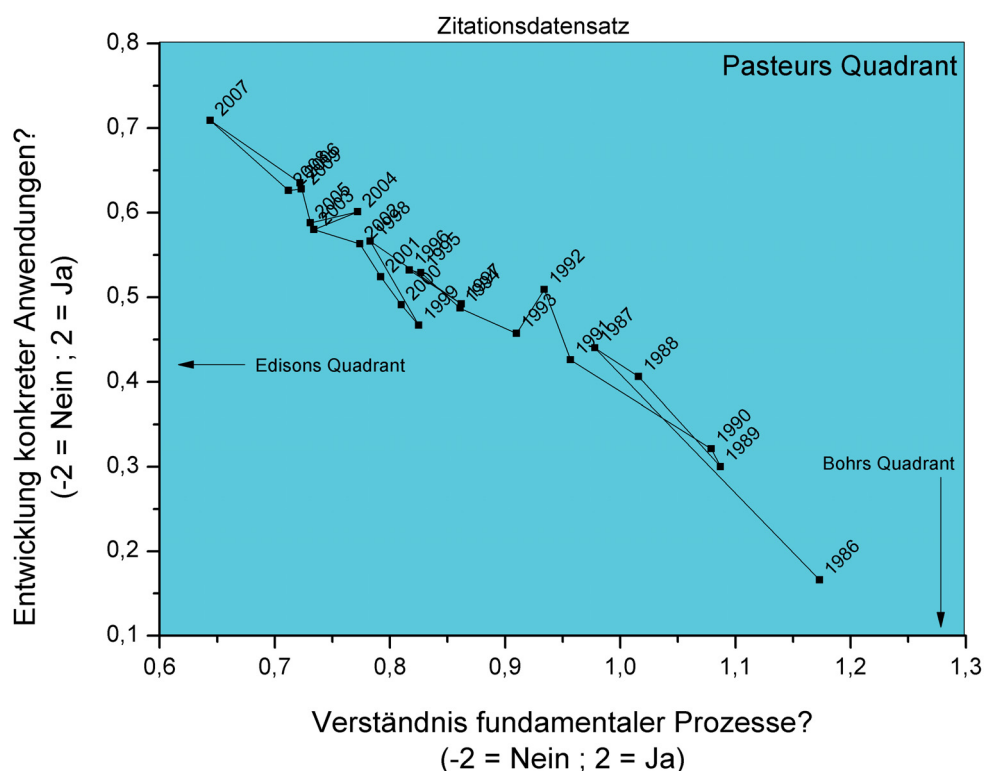


Abbildung 5.26: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Zitationsdatensatzes für das Thema sphärische Fullerene.

Ein ähnliches Bild bietet die SAQA für den Suchanfragensatz (siehe Abbildung 5.27). Allerdings gibt es hier auch einen bedeutenden Unterschied: Der Großteil der Jahre befindet sich auf relativ engem Raum in Pasteurs Quadranten. An der Stelle wo der Zitationsdatensatz, der viele Publikationen über Nanoröhren aufweist, einen Trend in Richtung Edisons Quadranten zeigt, ist beim Datensatz der Suchanfrage, der nur Publikationen zum

Thema „sphärische Fullerene“ beinhaltet, ein schwächerer Trend zu erkennen. Dies könnte bedeuten, dass letzteres Thema in der angewandten Forschung stagniert oder nur langsam vorankommt. Der Cluster zwischen den Koordinaten (0,7/0,65) und (0,8/0,55) entspricht grob der Stagnationsphase, die in Abbildung 5.24 zu beobachten ist. Ein solch deutlicher Cluster fehlt beim Zitationsdatensatz. Die letzten drei Punkte der SAQA von 2007 bis 2009 befinden sich außerdem wieder stärker in der Nähe von Edisons Quadranten.

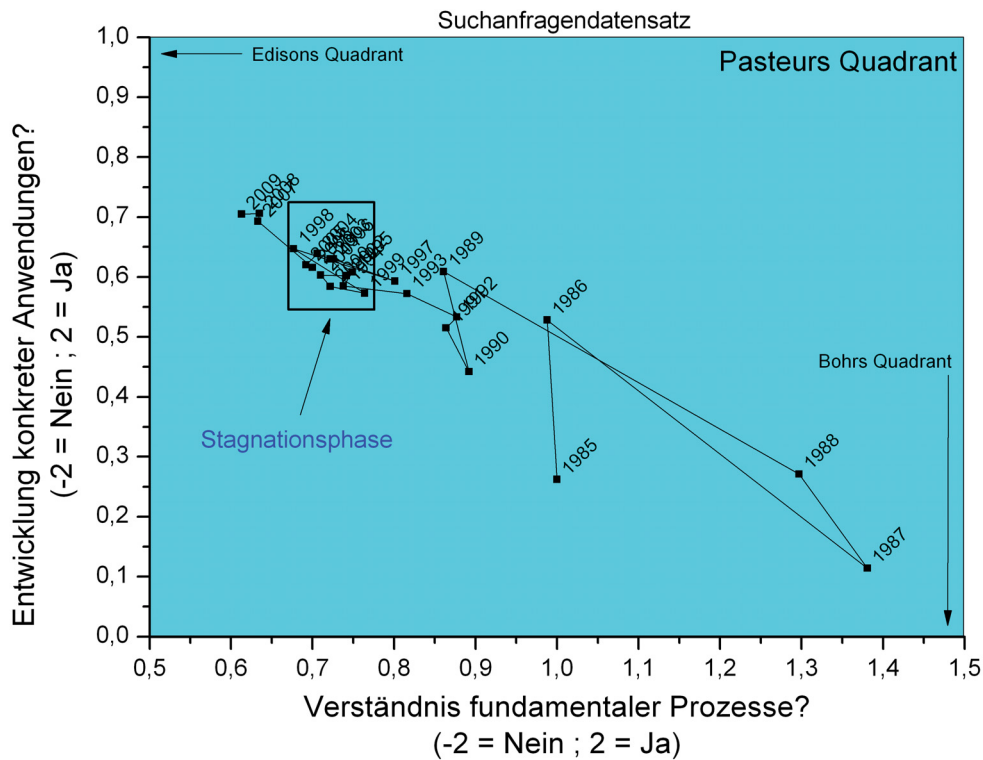


Abbildung 5.27: Die Subject-Area Quadrant-Allocation des Suchanfragedatensatzes für das Thema sphärische Fullerene.

Vergleich mit bekannten Mustern

Die Wachstumskurve des Zitationsdatensatz spricht für zwei mögliche Weiterentwicklungen. Zum Einen könnte es sich um einen Double-Boom handeln. Das würde bedeuten, dass die Jahre von 1986 bis 1993 den ersten Boom darstellen und die Jahre von 1994 bis ca. 2008 die Phase der Stagnation. Der zweite Boom erscheint hier möglich und wahrscheinlich. Eine zweite Interpretation wäre, dass das Thema seinen Höhepunkt erreicht hat, und die Zitationszahlen für die Jahre nach 1993 einen Sättigungswert darstellen. Der deutliche Anstieg der Publikationszahlen im Suchanfragedatensatz für die vergangenen Jahre spricht

5 Resultate der Footprintanalyse

aber dagegen.

Vergleich mit anderen Studien

Das Themenfeld der Fullerene und Nanoröhren wurde auch von anderen Forschern bibliometrisch untersucht. Lucio-Arias und Leydesdorff betrachteten Datensätze, die aus dem Web of Science und der Datenbank des Patentamtes der USA heruntergeladen wurden. Die Autoren suchten in den Datenbanken nach Artikeln, die die Wörter „Nanotube(s)“ oder „Fullerene(s)“ im Titel hatten. Bei diesem Vorgehen wurde aber der Artikel aus dem Jahre 1985, der in dieser Footprintanalyse den Genesisartikel von Kroto u. a. über die Entdeckung der Fullerene darstellt, nicht gefunden. Dieser Artikel wird in der Studie von Lucio-Arias zwar bei der Zitatanalyse erwähnt, er ist jedoch nicht Teil der von ihnen untersuchten Datensätze, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben kann. Problematisch ist auch die ausschließliche Suche in dem Titel-Feld der Artikel, da die gesuchten Wörter auch erst in den Abstracts vorkommen können. Dies ist bei Patenten eher der Fall als bei wissenschaftlichen Artikeln. Die Studie kommt unter anderem auch zu dem Ergebnis, dass es sich bei der Forschung an Nanoröhren um eine Forschungsfront handelt, weil das Thema aktuell von vielen Forschern bearbeitet wird, und die Citing Half-Life der Datensätze sehr gering ist (Lucio-Arias u. Leydesdorff, 2007). Bettencourt u. a. (2008) kommen zu dem Ergebnis, dass das Thema Fullerene bereits einen Sättigungswert erreicht hat und das Thema Nanoröhren nach ihrem Modell in den nächsten Jahren ebenfalls einen solchen Wert erreichen wird.

Zusätzlich zu Fullerenen und Nanoröhren beschäftigt sich eine Ausgabe des Newsletters „Research Trends“ von 2010 mit den Publikationen zu Graphenen.⁹ Die Daten wurden der Datenbank SCOPUS (siehe Kapitel 3.2.1) entnommen. Die Wachstumskurve (siehe Abbildung 5.28) für die Fullerene stimmt mit derjenigen für sphärische Fullerene in der vorliegenden Arbeit überein. Zusätzlich lässt sich eindrucksvoll feststellen, dass die Themen Nanoröhren und Graphene hinsichtlich der Anzahl der veröffentlichten Artikel sehr viel stärker wachsen als die sphärischen Fullerene.

Zusammenfassung

Die Betrachtung des Zitationsdatensatzes zeigt, dass das Thema Fullerene relativ früh von Wissenschaftlern bearbeitet wurde, die sich auch mit Nanoröhren beschäftigten, da

⁹Einzusehen unter: <http://www.researchtrends.com/issue18-july-2010/research-trends-12/> (abgerufen am 28. Juli 2010)

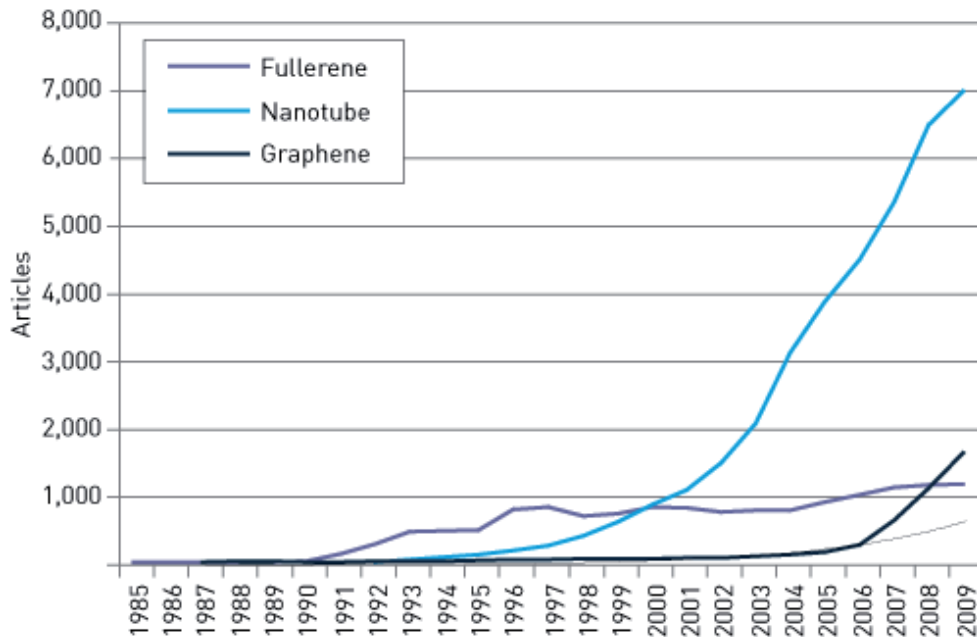


Abbildung 5.28: Anzahl englischsprachiger Forschungsartikel, die in wissenschaftlichen Zeitschriften zwischen 1985-2009 veröffentlicht wurden. Die Keywordsuchanfragen wurden jeweils für Fullerene (*fullerene), Nanoröhren (nanotube*) und Graphene (graphene*) in der Datenbank SCOPUS durchgeführt. (Quelle: Research Trends, siehe Fußnote 9)

sich in diesem Datensatz sehr häufige Nennungen von Keywords zum Thema Nanoröhren finden. Hier konnte also die Migration eines Themas (sphärische Fullerene) zu einem anderen Gebiet (Nanoröhren/zylindrische Fullerene) aufgezeigt werden. In diesem Sinne ist der Unterschied der beiden SAQAs zu interpretieren: Während man in der SAQA für den Zitationsdatensatz einen klaren Trend zur angewandten Forschung erkennen kann, zeigt die SAQA des Suchanfragendatensatzes eine Clusterbildung in Pasteurs Quadranten. Das Thema bewegt sich dort also kaum in eine neue Richtung. Die Institutionsanalyse widerspricht dieser Interpretation allerdings ein Stück weit, da der Anteil publizierender Institutionen in der anwendungsorientierten Gruppe nur im Suchanfragendatensatz und nicht im Zitationsdatensatz wächst. Dieses Wachstum ist aber relativ schwach ausgeprägt.

Ein Double-Boom-Zyklus ist möglich, da die Phase der Stagnation bereits seit Mitte der 90er Jahre (Zitationsdatensatz) beziehungsweise seit 2003 (Patentdatensatz) andauert. Allerdings sind keine Anzeichen für einen stärkeren Anwendungsbezug (abgesehen von dem Trend in der SAQA des Zitationsdatensatzes, der durch die Veröffentlichungen im Bereich der Nanoröhren und Graphene zu erklären ist) zu erkennen. Eine solche Entwicklung ist

5 Resultate der Footprintanalyse

trotzdem nicht auszuschließen. Schmoch (2007) schreibt, dass die Phase zwischen dem ersten und dem zweiten Boom bis zu 15 Jahre oder länger dauern kann. Ein Blick auf die Zitationszahlen von Iijimas Artikel von 1991 zeigt auch, dass diese, abgesehen von wenigen Ausnahmen, kontinuierlich wachsen. Die wachsende Forschergemeinschaft, welche sich mit Nanoröhren beschäftigt, scheint also mit fortschreitender Zeit immer häufiger Iijima zu zitieren und weniger Kroto. Die Publikationen im Newsletter „Research Trends“ und von Lucio-Arias u. Leydesdorff (2007) zeigen ebenfalls, dass die Themen „Nanoröhren“ und „Graphene“ stärker wachsen als das Thema „Sphärische Fullerene“, zumal die Forschung an den ersten beiden Themen eine „Forschungsfront“ darstellt. Dies könnte bedeuten, dass sich der Fokus der Forscher verschoben hat, und die Forschung an sphärischen Fullerenen an Bedeutung abnimmt. Es ist aber durchaus möglich, dass in Zukunft eine Anwendung oder Entdeckung bei den Nanoröhren oder Graphenen der Forschung an sphärischen Fullerenen wieder Auftrieb geben könnte. Im Jahr 2010 wurde der Nobelpreis für Physik an die Entdecker der Graphene vergeben (dpa, 2010). Daraus resultierend wird sich die Publikationsaktivität innerhalb dieses Themas und möglicherweise dann auch in den Themen „Sphärische Fullerene“ und „Nanoröhren“ verstärken.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die Footprintanalyse darauf hindeutet, dass die Forschung an dem Thema „Sphärische Fullerene“ momentan von geringerem Interesse ist als die daraus hervorgegangene Forschung an den Themen „Nanoröhren“ und „Graphene“. Es gibt zwar Artikel aus dem Bereich der Nanoröhren und Graphene, die auch den Genesisartikel der sphärischen Fullerene zitieren, mit fortlaufender Zeit nimmt die Anzahl der zitierenden Artikel insgesamt aber ab. Auch ein erkennbarer stärkerer Anwendungsbezug ist weder durch die SAQAs noch die Anzahl der Patentfamilien zu beobachten. Diese haben zwar im Jahr 2003 stark zugenommen, nehmen aber seitdem schon wieder ab. Ein zunehmender Anwendungsbezug ist in einem geringen Maß nur im Suchanfragensdatensatz zu erkennen. Der Anteil der Patentzitationen auf NPL ist hoch, vor allem im Suchanfragensdatensatz. Der Anteil der zitierenden Patente befindet sich bei rund 27% (Zitationsdatensatz) beziehungsweise rund 41% (Suchanfragensdatensatz). Dies spricht dafür, dass das Thema bereits stärker diversifiziert und der Zitationsdatensatz nicht mehr von großem Interesse ist.

Das Thema könnte wegen des möglichen, zu erwartenden zweiten Booms für Unternehmen interessant werden. Für Forschungsgemeinschaften ist das Thema dagegen weniger von Interesse, da die Stagnationsphase sich ihrem Ende zu nähern scheint.

6 Diskussion der Footprintanalyse

Nach der Beschreibung der Methode und der Durchführung von sechs Footprintanalysen soll an dieser Stelle nun auf Probleme, Kritik und Vorteile dieser neuen Analyse eingegangen werden.

Jede bibliometrische Analyse steht und fällt mit ihrer Datenbasis. Seit der Entstehung dieser Untersuchungsmethoden wird daran gearbeitet, die zu untersuchenden Daten so sauber wie möglich zu halten und die für die jeweilige Analyse irrelevanten Dokumente zu entfernen. Dies ist bis heute der Fall. Inzwischen gibt es, neben den Daten der bekannten Zitationsdatenbanken, weitere Versuche, die Datenbasis zu verbessern. Das ORCID-Projekt¹ (Open Researcher & Contributor ID) hat sich zum Beispiel der Lösung des Problems gleichlautender Autorennamen verschrieben. Zu den Initiatoren dieses Projekts gehören Thomson Reuters und die Nature Publishing Group. Eine Verbesserung dieser Daten wird in Zukunft die Qualität bibliometrischer Analysen nochmals steigern können. Des Weiteren werden aber auch neue Arten von Daten erhoben, um bestehende bibliometrische Analysen zu verbessern: Im MESUR-Projekt² des Los Alamos Laboratory werden neben den Zitationsdaten auch die Online-Zugriffe auf Publikationen erhoben. Solche Nutzungsstatistiken können das Bild, welches bisherige bibliometrische Analysen zeichnen, auf vielfache Weise erweitern und ergänzen.

Die in den Kapiteln 5.1 und 5.2 beschriebenen Beispiele der Footprintanalyse stellen Fallstudien dar. Kritiker der Bibliometrie und solcher Fallstudien äußern häufig die Meinung, dass die Dynamik und die Innovationsprozesse in Wissenschaft und Technologie zu komplex sind, um Regelmäßigkeiten festzustellen. Cahn (1970, S. 695) beschreibt diese Kritik in seinem Review zu „Case Histories in Innovation“ folgendermaßen:

„A sceptic may well object that the anatomy of an innovation, however conscientiously dissected, will offer little insight into the structure of another innovation, the bones and nerves of which are differently arranged.“

¹<http://www.orcid.org/> (abgerufen am 31. August 2010)

²<http://www.mesur.org> (abgerufen am 31. August 2010)

6 Diskussion der Footprintanalyse

Er stellt aber direkt danach auch fest:

„There is force in this objection, but the force diminishes when case histories are regarded as effectively primary source material, from which science humanists of the future will create an illuminating synthesis.“

So sind auch die Fallstudien der Footprintanalyse gedacht als Beispiele für eine Analyseform, die Hinweise darauf liefern soll, ob wissenschaftliche Themen, Entdeckungen oder Technologien bereits Anwendungen gefunden haben oder in naher Zukunft zu erwarten, und in der Forschungslandschaft einzuordnen sind. Selbstverständlich ist die Entwicklung einer neuen Technologie oder die Schaffung neuen Wissens ein höchst komplexer Prozess, der viele subjektive Faktoren beinhaltet. Faktoren, die nicht alle von einer bibliometrischen Analyse, egal wie aufwändig diese auch angelegt sein mag, abgedeckt werden können. Nichtsdestotrotz lassen sich mithilfe von Fallstudien Trends herausfinden. Trends, die sich auch wiederholen können. Schließlich können diese Trends eine Erklärung dafür liefern, wieso Wissenschaftler in den verschiedenen Disziplinen so publizieren wie sie es tun, und wieso die verschiedenen Wege der wissenschaftlichen Kommunikation in der Grundlagen- und angewandten Forschung nicht einfach nur Zufall sind (Pigliucci, 2009).

Eine Footprintanalyse geht idealerweise von einem Genesisartikel aus (siehe Kapitel 4.2.1). Das problematische an dieser Vorgehensweise ist die hohe Subjektivität, mit der ein solcher Artikel ausgewählt werden muss. Das Beispiel „Sphärische Fullerene“ (Kapitel 5.2.3) hat gezeigt, dass der eigentliche Genesisartikel nicht genutzt werden kann, dafür aber ein anderer. Der Grund hierfür lag in der Rezeption des Artikels in Form von vielen zitierenden Artikeln. Für das Beispiel „Stringtheorie“ (Kapitel 5.1.1) wurde nicht der Artikel ausgesucht, der später als Ursprung dieser Theorie betrachtet wurde, sondern derjenige, der die sogenannte „Zweite Stringrevolution“ auslöste. Beim Beispiel „Biodiesel“ (Kapitel 5.1.2) wurde in Absprache mit einem Fachwissenschaftler entschieden, sogar ganz auf den Genesisartikel zu verzichten, da die entsprechenden Veröffentlichungen fast gar nicht zitiert worden waren. Nichtsdestotrotz hat die Analyse des Genesisartikels sowie des Zitationsdatensatzes (siehe Kapitel 4.2.2) zu von Fachwissenschaftlern für plausibel erklärten Ergebnissen geführt. Genesisartikel und Zitationsdatensatz erfüllten in der vorliegenden Arbeit drei Hauptaufgaben:

1. Die Schlagwortanalyse des Zitationsdatensatzes sollte als Grundlage für eine Suchanfrage im Derwent Innovations Index und in den Zitationsindizes des Web of Science

dienen. So konnten Begriffe in die Suchanfrage einfließen, die möglicherweise sonst nicht dem untersuchten Thema zugeordnet worden wären.

2. Die Unterschiede zwischen Zitations- und Suchanfragedatensatz sollten zeigen, ob sich das untersuchte Thema auch in andere Gebiete oder Themen verlagert hat.
3. Die Entwicklung der Publikationszahlen des Zitationsdatensatzes über die Jahre sollten einen ersten Hinweis auf die Aktualität des untersuchten Themas liefern.

Diese Aufgaben können erst vollständig von einem Datensatz erfüllt werden, der auf Zitationen und nicht auf eine Suchanfrage aufbaut. Wie die in dieser Arbeit vorgestellten Footprintanalysen gezeigt haben, beinhalten die Suchanfragedatensätze zum größten Teil Publikationen, die bloß im engeren Sinne mit dem Thema zu tun haben. Die Zitationsdatensätze können dagegen, sofern der Genesisartikel von Autoren zitiert wurde, die mit dem eigentlich untersuchten Thema nur am Rande etwas zu tun haben, ein breiter gestreutes Bild zeichnen. So konnte bei dem Beispiel „Sphärische Fullerene“ gezeigt werden, dass das Thema auch von Autoren bearbeitet wird, die sich mit „Nanoröhren“ und „Graphenen“ beschäftigen. Ähnliches konnte bei den Themen „Rastertunnelmikroskop“ und „Metamaterialien“ nachgewiesen werden. Wie das Beispiel „Biodiesel“ vorgeführt hat, ist jedoch ein Zitationsdatensatz nicht immer nötig. Da es sich hier um einen Test für die Footprintanalyse handelte, war klar, in welche Richtung sich die Technologie entwickelt. Bei den aktuellen Themen war dies nicht abzusehen, deshalb sollte bei Footprintanalysen stets versucht werden, einen Genesisartikel zu finden und zu nutzen. Im Idealfall wird dies mit einem Fachwissenschaftler gemeinsam gemacht. Es ist aber auch möglich, Genesisartikel über eine Internetrecherche, zum Beispiel in der Datenbank der Nobel Stiftung oder in den „Citation Classics“, zu entdecken. Die Entwicklung der Publikationszahlen des Zitationsdatensatzes über die Jahre unterschied sich bei einigen der untersuchten Themen stark von jener des Suchanfragedatensatzes. Erklärungen für diese Unterschiede konnten zwar gefunden werden, die ursprüngliche Vermutung, dass der Zitationsdatensatz dem Suchanfragedatensatz in dieser Beziehung ähnelt, konnte dagegen nicht bei allen Themen bestätigt werden.

Die Autorenschlagwörter, welche aus dem Zitationsdatensatz extrahiert wurden, dienten neben der Erstellung der Suchanfrage noch einer weiteren Aufgabe: Sie sollten die thematische Breite des Genesisartikels zeigen. Wären die Schlagwörter zu einem großen Teil in Themen beheimatet gewesen, die mit dem Genesisartikel gar nicht untersucht werden sollten, dann wäre es sinnvoll gewesen, einen anderen Genesisartikel und damit einen anderen

6 Diskussion der Footprintanalyse

Zitationsdatensatz auszuwählen. Um die große Zahl der Schlagwörter überschaubarer zu machen, wurden diese mithilfe des Porter-Stemmer-Algorithmus auf ihren Stamm reduziert (siehe Kapitel 4.2.3). Diese Analyse führte in der vorliegenden Arbeit zu nachvollziehbaren Ergebnissen. Somit konnten gleichzeitig für die einzelnen Themen Fachbegriffe identifiziert und von den Fachwissenschaftlern bestätigt werden, welche zunächst nicht in Erwägung gezogen worden waren. Ein Problem dieses Vorgehens sind die Synonyme, welche durch eine einfache Stammreduzierung nicht zusammengefasst werden können. Eine solche Zusammenfassung wäre aber durchaus sinnvoll, sollte aber entweder mithilfe eines Thesaurus oder eines Fachwissenschaftlers für jedes Thema individuell durchgeführt werden. Fachbegriffe, die in einem Themenbereich synonym sind, müssen dies nicht auch in einem anderen Themenbereich sein. Ein weiteres Problem dieser Analyse stellen Schlagwörter dar, die keinen Sinn ergeben. Dieser Fall trat beim Thema „Metamaterialien“ (siehe Kapitel 5.2.2) auf. Dort tauchten in der Schlagwörterliste mehrere allein stehende Zahlen auf. Hierbei handelt es sich wahrscheinlich um einen Indexierungsfehler im Web of Science. Probleme dieser Art scheinen aber insgesamt selten aufzutreten.

Der Verlauf der Publikationszahlen des Patentdatensatzes über die Jahre führte in den untersuchten Beispielen zu interessanten und teilweise unerwarteten Ergebnissen. Im Zusammenspiel mit den anderen Datensätzen lieferten diese Daten ein umfassendes Bild der Publikationsaktivität eines Themas. Die Datenstruktur des Derwent Innovations Index und die vorherige Bearbeitung durch die dortigen Prüfer war sehr hilfreich. Ein Punkt, auf den in der Arbeit nicht näher eingegangen wurde, war die Anzahl der in Patentfamilien zusammengefassten einzelnen Patente. Hier wurden Patentfamilien mit nur einer Patentanmeldung genauso gehandhabt wie Patentfamilien mit mehreren Patentanmeldungen. Auf eine tiefergehende Analyse wurde verzichtet, da weitere Anmeldungen wahrscheinlich eher einen Hinweis auf die wirtschaftliche Bedeutung einer Erfindung darstellen als auf deren Einordnung in die Grundlagen- oder angewandte Forschung.

Die Untersuchung der NPL-Zitationen der Patentfamilien und die davon abgeleitete Wissenschaftsbindung kann an einer Stelle besonders kritisch betrachtet werden, und zwar bei dem Abgleich der NPL-Zitationen mit den Publikationen im Zitations- und Suchanfragedatensatz. Im Vergleich zur ersten Version des Softwaretools für die NPL-Zitationen konnte die neueste Version (Stand: Oktober 2010) diesen Abgleich sehr viel genauer und korrekter durchführen. Die sehr heterogene Strukturierung der Zitationen im Patentdatensatz spricht dafür, dass zumindest die am häufigsten gezählten NPL-Zitationen weiterhin noch per Hand kontrolliert und analysiert werden sollten. Die Bedeutung und Art der

Verbindung zwischen Patentdatensatz und Zitations- sowie Suchanfragedatensatz konnten mit dieser Methode bei einigen Themen ebenfalls näher bestimmt werden. So wurden beim Beispiel „Sphärische Fullerene“ besonders jene wissenschaftlichen Publikationen von Patenten zitiert, die sich mit der Herstellung von Fullerenen beschäftigten.

Die Analyse des zeitlichen Verlaufs der Publikationszahlen des Suchanfragedatensatzes ist ein klassisches Instrument der Bibliometrie. Die Kritik an dieser Analyse und die daraus resultierende Diskussion betrifft die Bibliometrie allgemein und wurde in Kapitel 3.3 besprochen.

In Kapitel 4.2.5 wurde beschrieben, wie einzelne publizierende Institutionen zunächst in Kategorien und diese wiederum in Gruppen eingeordnet wurden. Meyer (2000b) stellt allerdings fest, dass eine Einteilung von Institutionen in Einrichtungen der angewandten und Grundlagenforschung nur schwer möglich ist. Aus diesem Grunde wurde in dieser Arbeit von einer „Orientierung“ zur jeweiligen Forschung gesprochen. Es ist klar, dass sich die meisten Forschungsinstitute mit einer Mischung aus Grundlagen- und angewandter Forschung beschäftigen. Die Gruppierung, welche in dieser Arbeit vorgenommen wurde, gibt deshalb nur eine Tendenz des jeweiligen Forschungsinstitutes wieder. Damit wurde ein pragmatischer Weg verfolgt, der eine Einteilung der Institutionen ermöglichte. Ähnlich ist auch Meyer in seiner Studie zum Thema Nanotechnologie vorgegangen. Er teilte Institutionen in drei Gruppen ein, die den drei Gruppen in dieser Arbeit grob entsprechen (siehe Tabelle 8 auf Seite 172 in der Studie von Meyer):

- „Public sector & research organizations (PSR)“
- „Industry“
- „PSR Industry“

Als Forschungsdesiderata gibt Meyer Untersuchungen von Patenzitationen aus weiteren Technologiefeldern an. Dieser Forderung wurde in dieser Arbeit teilweise gefolgt, da Meyers Analyse einige andere Aspekte, wie zum Beispiel den Wissenstransfer zwischen verschiedenen Institutionstypen, untersucht hat.

Die Institutionsanalyse führte in der vorliegenden Arbeit stets zu dem Ergebnis, dass die meisten Publikationen von Institutionen mit Grundlagenorientierung kamen. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen von Tijssen (2010). In seiner Arbeit kommt er zu dem Schluss, dass die Subject Area mit dem höchsten Anteil an „Industrial Relevance“ („Petroleum Engineering“, eine sehr kleine Subject Area mit nur neun Zeitschriften)

6 Diskussion der Footprintanalyse

gerade einmal 33% und jene an „Clinical relevance“ („Emergency Medicine“) 35% Autoren von anwendungsorientierten Institutionen aufweist (Tabelle 2 auf Seite 1849 in der Studie). Betrachtet man bei Tijssen außerdem jene Journals, die einen hohen Wert in den anwendungsorientierten Kategorien „I+: Industry practice journals: many contributions from industry“ und „C+: Clinical practice journals: many contributions from general hospitals“ besitzen, sieht man, dass der Anteil dieser beiden zusammen über die Jahre bei rund 15% liegt (Tabelle 5 auf Seite 1851 in der Studie). Dies zeigt, dass die im Web of Science nachgewiesenen Publikationen wegen der Struktur der Datenbank stets zu einem hohen Anteil von Institutionen mit Grundlagenorientierung stammen. Folgt man dieser Tatsache, so lassen sich mit der Institutionsanalyse Unterschiede bei den Anteilen der Institutionsorientierungen analysieren und interpretieren. Am stärksten trat dieser Unterschied in der vorliegenden Arbeit bei den Beispielen „Stringtheorie“ einerseits und „Biodiesel“ sowie „Autonomselbstheilende Werkstoffe“ andererseits auf.

Die Subject-Area Quadrant-Allocation, welche in der vorliegenden Arbeit entwickelt wurde, ist eine Methode, die sowohl quantitative als auch qualitative Daten vereint (siehe Kapitel 4.2.6). Die erste Umfrage zur Einordnung der Subject Areas des Web of Science ist mit 53 auswertbaren Fragebögen von Wissenschaftlern verschiedener Forschungseinrichtungen noch relativ klein. Manche Subject Areas erhielten nur eine einzelne Einordnung, andere dagegen bis zu 42. Mit einer größeren Anzahl von Einordnungen sollte die Robustheit der SAQAs noch verbessert werden können. Ein weiterer Kritikpunkt der SAQA ist die Tatsache, dass alle Subject Areas einer Zeitschrift auf alle Publikationen aus dieser Zeitschrift übertragen werden. Es ist ziemlich unwahrscheinlich, dass eine Zeitschrift mit mehreren Subject Areas zu genau gleichen Teilen aus Publikationen dieser Subject Areas besteht. Genauso unwahrscheinlich ist es, dass jede Publikation einer solchen Zeitschrift allen Subject Areas zugeordnet werden kann. Besser wäre ein System, das die Einordnung auf Artikelebene durchführt. Ein solches System ist nach persönlicher Aussage eines Mitarbeiters von Thomson Reuters zwar seit Jahren in Entwicklung, eine offizielle Ankündigung hierfür gibt es bisher allerdings nicht. Jedoch ist dieses Problem momentan nicht besonders gravierend, da die SAQA im Zuge der Analyse gezeigt hat, dass der Großteil der untersuchten Zeitschriften nur eine oder zwei Subject Areas aufweist. Die SAQA liefert bereits jetzt interessante Ergebnisse und wird inzwischen auch in anderen Projekten am Fraunhofer INT genutzt.

Die Nutzung bekannter (siehe Kapitel 4.2.7) und die Entdeckung bisher unbekannter Muster hat in der vorliegenden Arbeit meist einen relativ schwachen Anteil. So kann-

te kein eigenes und neues Muster mithilfe der Footprintanalyse entdeckt werden. Bereits bekannte, wie das Rosenberg-Muster und der Double-Boom-Zyklus, konnten dagegen bestätigt werden. Meiner Meinung nach liegt die Stärke der Footprintanalyse dennoch auch in diesem Bereich, weil bei einzelnen Themen eine korrekte Einordnung nur mithilfe der neuen Methoden, wie zum Beispiel der Subject-Area Quadrant-Allocation und der Analyse der Institutionstypen, möglich war und Muster dort nachgewiesen werden konnten. Eine reine Betrachtung und Analyse der Wachstumskurven des Zitations- und Suchanfragedatensatzes der Themen „Stringtheorie“ und „Biodiesel“ hätte nicht ausgereicht, um keinen beziehungsweise einen starken Anwendungsbezug festzustellen. Ein Vergleich der Wachstumswerte der Patentdatensätze der Themen „Biodiesel“ und „Autonom selbstheilende Materialien“ hätte nicht offenbart, dass das eine Thema fest im Bereich der angewandten Forschung und das andere im Gebiet zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung liegt. Auch die Tatsache, dass die Themen „Metamaterialien“ und „Sphärische Fullerene“ einen Trend zur angewandten Forschung aufweisen, das Thema „Rastertunnelmikroskop“ und „Stringtheorie“ dagegen nicht, hätte mit den üblichen bibliometrischen Methoden nicht belegt werden können. Erst mit einem kompletten Profil der jeweiligen Themen konnten diese Aussagen getroffen werden.

7 Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel soll ein Fazit für die in dieser Arbeit entwickelte und vorgestellte Methode der Footprintanalyse gezogen werden. Im Anschluss werden ein Blick in die Zukunft gewagt und Forschungsdesiderata formuliert.

In Kapitel 5 wurden die Resultate der einzelnen Footprintanalysen dargestellt und zusammengefasst. Zunächst wurde die Footprintanalyse an drei beispielhaften Themen getestet. Bei diesen war die Einordnung in Grundlagen- und angewandte Forschung bereits klar, mit einem überraschenden Ergebnis wurde nicht gerechnet. In Tabelle 7.1 sind die Profile dieser Footprintanalysen zusammengefasst.

Bei dem ersten Beispiel („Stringtheorie“, siehe Kapitel 5.1.1) konnte gezeigt werden, dass sich die Entwicklung wie erwartet verhält. Es handelte sich um ein aktuelles Thema mit vielen Publikationen. Patentfamilien konnten dagegen kaum gefunden werden. Auch die Subject-Area Quadrant-Allocation zeichnete ein eindeutiges Bild: Das Thema war bis auf wenige Ausnahmen seit seiner Entstehung Teil von Bohrs Quadranten und damit Teil der Grundlagenforschung. Der Trend über die Jahre zeigt, dass das Thema sogar noch tiefer in diesen Quadranten eindringt. Dieser erste Test verlief also erfolgreich. Die Footprintanalyse hatte mithilfe einer Kombination bereits bekannter Methoden, wie der Trendanalyse von Wachstumskurven, und neuer Methoden, wie der SAQA und der Analyse der publizierenden Institutionen, gezeigt, dass plausible Ergebnisse produziert wurden.

Ein ähnliches Ergebnis konnte auch für die angewandte Forschung mit dem Thema „Biodiesel“ (siehe Kapitel 5.1.2) erzielt werden. Hier wurde die Footprintanalyse ohne Genesisartikel und Zitationsdatensatz durchgeführt. Sowohl die SAQA als auch der hohe Anteil der publizierenden Institutionen mit Anwendungsorientierung zeichneten hier wiederum ein klares Bild.

Als drittes Beispiel wurde das Thema „Rastertunnelmikroskop“ (siehe Kapitel 5.1.3) ausgewählt, da dort von einer Entwicklung nach dem sogenannten Rosenberg-Muster auszugehen war. Hinweise hierfür konnten gefunden werden, allerdings nur in schwacher Ausprägung. Das Ergebnis der Footprintanalyse dagegen zeigt eindeutig, dass das Thema auf-

Tabelle 7.1: Übersicht über die Profile der Evaluation der Footprintanalyse

Tests der Footprintanalyse	
<u>Stringtheorie</u>	
Aktualität des Themas	Patententwicklung
– Zitationsdatensatz stagniert	– Keine Patentfam. vorhanden
– Suchanfragedatensatz wächst stark	– Keine NPL-Zitationen
Institutionsanalyse	SAQA
– Anteil grundlagenorientierter Institutionen über 90%	– Eindeutig in Bohrs Quadranten
Bekannte Muster	
– Kein bekanntes Muster	
<u>Biodiesel</u>	
Aktualität des Themas	Patententwicklung
– Kein Zitationsdatensatz	– Starkes Wachstum der Patentfam.
– Suchanfragedatensatz wächst stark	– Wenig NPL-Zitationen
Institutionsanalyse	SAQA
– Hoher Anteil anwendungsorientierter Institutionen (30%-40%)	– Eindeutig in Edisons Quadranten
Bekannte Muster	
– Kein bekanntes Muster	
<u>Rastertunnelmikroskop</u>	
Aktualität des Themas	Patententwicklung
– Zitationsdatensatz stagniert	– Wachstum Patentfam. stagniert
– Suchanfragedatensatz wächst stark	– Hohe Science Linkage
Institutionsanalyse	SAQA
– Hoher Anteil grundlagenorientierter Institutionen (70%-80%)	– Eindeutig in Pasteurs Quadranten
Bekannte Muster	
– Schwaches Rosenberg-Muster	

grund seiner starken Nutzung für die Forschung in Pasteurs Quadranten, also im Feld der Grundlagen- und angewandten Forschung angesiedelt ist.

Nach dieser Verifikation der Analysemethoden durch diese drei Fallstudien wurde die Footprintanalyse auf drei aktuelle Themen angewandt, bei denen die bisherige und mögliche weitere Entwicklung nicht bekannt war. Tabelle 7.2 zeigt eine Übersicht dieser Profile.

Das erste aktuelle Thema zeichnete ein heterogenes Bild („Autonom selbstheilende Werkstoffe“ siehe Kapitel 5.2.1). Im Vergleich zu den Tests vorher zeigte sich kein eindeutiges Bild. Während Zitations- und Suchanfragedatensatz moderat wachsen, sind kaum Patentfamilien nachzuweisen. Die wenigen Patentfamilien mit NPL-Zitationen weisen eine niedrige Science Linkage auf. Einerseits wird der größte Teil der Publikationen von Institutionen mit Grundlagenorientierung publiziert (zwischen 70% und 80%), andererseits deuten die SAQAs dieses Themas darauf hin, dass eine Orientierung in Richtung Edisons Quadranten wahrscheinlich ist. Das Thema ähnelt in einigen Gesichtspunkten dem Thema „Biodiesel“, und es ist möglich, dass es einen ähnlichen Verlauf nehmen wird. Für dieses Thema kann Organisationen wie der Fraunhofer-Gesellschaft eine Forschungsempfehlung ausgesprochen werden.

Das Thema „Metamaterialien“ (siehe Kapitel 5.2.2) konnte ebenfalls mit einer relativ eindeutigen Empfehlung versehen werden. Der Zitations- und Patentdatensatz wächst moderat, während der Suchanfragedatensatz stark wächst. Die hohe Science Linkage spricht dafür, dass das Thema in hohem Maße von der Wissenschaft angetrieben wird. Der Anteil der publizierenden Institutionen mit Grundlagenorientierung ist entsprechend hoch (ca. 80%). Die SAQAs befinden sich beide in Pasteurs Quadranten, zeigen aber einen eindeutigen Trend in Richtung Edisons Quadranten. Das Thema wird wahrscheinlich entweder weiter kontinuierlich wachsen bis Anwendungen auf den Markt gebracht werden, oder es kommt zu einem Double-Boom-Zyklus und einer Stagnationsphase, die von öffentlich finanzierten Forschungsinstitutionen getragen werden sollte. In beiden Fällen gilt eine vorsichtige Empfehlung für Forschungsinstitutionen wie die Fraunhofer-Gesellschaft. Vorsichtig deshalb, da hier im Gegensatz zu den autonom selbstheilenden Werkstoffen bereits viele Patente angemeldet wurden. Es könnte daher sein, dass sich ein Engagement in diesem Bereich nicht lohnt.

Am Beispiel des Themas „Sphärische Fullerene“ in Kapitel 5.2.3 konnte ein Double-Boom-Muster gezeigt werden. Dies lässt sich anhand der Wachstumskurven des Zitations- und Suchanfragedatensatzes zeigen. Die Wachstumskurve des Patentdatensatzes scheint sich noch in der Stagnationsphase zu befinden. Die hohe Science Linkage deutet ebenfalls

Tabelle 7.2: Übersicht über die Profile der Footprintanalysen zu aktuellen Themen

Footprintanalysen zu aktuellen Themen	
<u>Autonom selbstheilende Werkstoffe</u>	
Aktualität des Themas	Patententwicklung
– Zitationsdatensatz wächst moderat	– Wenige Patentfam. vorhanden
– Suchanfragedatensatz wächst moderat	– Niedrige Science Linkage
Institutionsanalyse	SAQA
– Hoher Anteil	– Größter Teil in Pasteurs Quad.
grundlagenorientierter Institutionen (70%-80%)	– Im Suchanfragedatensatz Trend zu Edisons Quadranten
Bekannte Muster	
– Kein bekanntes Muster	
<hr/>	
<u>Metamaterialien</u>	
Aktualität des Themas	Patententwicklung
– Zitationsdatensatz wächst moderat	– Moderates Wachstum
– Suchanfragedatensatz wächst stark	der Patentfam.
	– Hohe Science Linkage
Institutionsanalyse	SAQA
– Hoher Anteil	– Trend zu Edisons Quadranten
grundlagenorientierter Institutionen (ca. 80%)	
Bekannte Muster	
– Kein bekanntes Muster	
<hr/>	
<u>Sphärische Fullerene</u>	
Aktualität des Themas	Patententwicklung
– Zitationsdatensatz wächst seit 2003 wieder	– Patentfam. nehmen ab
– Suchanfragedatensatz wächst seit 2004 wieder	– Hohe Science Linkage
Institutionsanalyse	SAQA
– Hoher Anteil	– Trend zu Edisons Quadranten
grundlagenorientierter Institutionen (80%-90%)	
Bekannte Muster	
– Double-Boom-Zyklus	

auf einen Double-Boom-Zyklus, da dieser häufig bei Themen mit starkem wissenschaftlichen Bezug beobachtet wurde. Mithilfe der Subject-Area Quadrant-Allocation wurde deutlich, dass die Wachstumsphasen mit Bewegungen in Pasteurs Quadranten zusammenfallen und im Gegenzug die Stagnationsphase eine Clusterbildung der Jahrespunkte aufweist. Diese Information wirft ein interessantes Bild auf den Innovationszyklus: In einer Stagnationsphase, in der Hindernisse für den weiteren Fortschritt aus dem Weg geschafft werden müssen, kommt es ebenfalls zu Veröffentlichungen in Journalen, die zu einem ausgeglichenen fp- und ka-Wert (siehe Kapitel 4.2.6) und damit zu einer Einordnung in Pasteurs Quadranten führen. In Boomphasen dagegen nehmen die Veröffentlichungen in den Journalen dermaßen zu, dass eine Bewegung in Richtung Edisons Quadranten zu verzeichnen ist. Dieses Thema kann Unternehmen zur weiteren Erforschung und Entwicklung empfohlen werden, da es mit der zweiten Boomphase auch zu einem verstärkten Interesse des Marktes kommen sollte.

Insgesamt konnten mithilfe der in der vorliegenden Arbeit entworfenen Footprintanalyse die aktuellen Themen von mehreren Seiten erfolgreich beleuchtet werden. Der Mehrwert dieser neuen Art von Analyse sind die neuen Methoden Subject-Area Quadrant-Allocation und Institutionsanalyse sowie deren Kombination mit anderen Methoden der Bibliometrie. Die Footprintanalyse erfüllt damit die an sie gestellte Aufgabe, wissenschaftliche Themen und Technologien in die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung einzuordnen. Die Entwicklung dieser Methode ist nun abgeschlossen und kann an Forschungsinstitutionen und in Unternehmen angewandt werden. Im Verlauf der Erstellung der vorliegenden Arbeit wurden aber auch Möglichkeiten gefunden, um diese Methode in zukünftigen Arbeiten weiter zu verbessern.

Die „Science and Engineering Indicators“¹ des National Science Boards in den USA publizieren alle zwei Jahre Statistiken über diverse, für die Grundlagen- und angewandte Forschung relevante Indikatoren. Die aktuelle Ausgabe von 2010, welche sich auf das Jahr 2008 bezieht, weist auf interessante Trends hin, die bei einer zukünftigen, ähnlichen Untersuchung zu beachten wären: Die meisten Forschungsgelder in den USA wurden von Firmen aufgewendet (ca. 70%, Abbildung 4-2 im Bericht „Science and Engineering Indicators: 2010“), während öffentliche Forschungseinrichtungen den größten Teil der Grundlagenforschung durchführten, nämlich ca. 56% (Abbildung 4-5 im Bericht „Science and Engineering Indicators: 2010“). In Europa schwankt dieser Wert zwischen 30% (Rumänien) und knapp 80% (Norwegen) (OECD, 2010, S.83). Insgesamt machten in den USA im Jahr 2008 die

¹Herunterladbar unter: <http://www.nsf.gov/statistics/seind10/> (abgerufen am: 23. Juli 2010)

7 Fazit und Ausblick

Kategorie „Grundlagenforschung“ rund 18%, die „Angewandte Forschung“ 22% und die „Entwicklung“ ca. 60% aus (Abbildung 4-5 im Bericht „Science and Engineering Indicators: 2010“). Die Definition der Kategorien stammt von der National Science Foundation, der das National Science Board angehört. Diese Zahlen zeigen in beeindruckender Weise, dass eine Untersuchung von publizierter Forschung (sowohl wissenschaftliche Artikel als auch Patente) immer nur einen Aspekt der durchgeführten Forschung beschreibt. Auch Stokes (1997, S. 86-87) weist darauf hin, nicht nur den Bereich der Grundlagen- und angewandten Forschung zu betrachten, sondern auch marktwirtschaftliche Aspekte und Indikatoren in der Analyse zu beachten. Da dann aber nicht nur bibliometrische Größen berücksichtigt werden, müsste man auch die Datenbasis verbreitern. Das National Science Board bezieht sich bei seinen Statistiken auf investierte Forschungsgelder. Eine solche Methodologie ließe einen Vergleich verschiedener Länder beziehungsweise wissenschaftlicher Disziplinen zu, in denen diese Gelder ausgegeben wurden. Eine Analyse konkreter wissenschaftlicher oder technologischer Themen, wie in dieser Arbeit, wäre aber nur mit erheblich größerem Aufwand möglich. Um Finanzmittel in die vorliegende Analyse einzubeziehen, müssten zunächst alle Institutionen, die an einem Thema forschen, identifiziert werden und in einem zweiten Schritt die Höhe der finanziellen Mittel, welche für das Thema ausgegeben wurden. Diese Vorgehensweise ist prinzipiell möglich und könnte in zukünftigen Studien weiterverfolgt werden. In diesem Zusammenhang könnte auch die Anzahl der Patentanmeldungen pro Patentfamilie untersucht werden.

Bei der Footprintanalyse wurde ein weiterer Faktor ebenfalls nicht berücksichtigt, der aber durchaus einen Einfluss auf die Forschung und Entwicklung haben kann: die öffentliche Meinung. Stokes (1997, S. 97-98) weist auf Beispiele hin, bei denen sich die öffentliche Meinung auf die Forschung ausgewirkt hat. Ein Beispiel ist der Einfluss von Tier- und Umweltschutzorganisationen. Weitere aktuelle Beispiele sind die Diskussionen um die Stammzellenforschung und die Präimplantationsdiagnostik (siehe zum Beispiel Lehming, 2010).

Die wünschenswerte detailliertere Klassifikation der publizierenden Institutionen wurde bereits in Kapitel 4.2.5 angesprochen. In Brasilien existiert inzwischen eine nationale Datenbank,² die erfolgreich versucht, das Homonymproblem bei Autorennamen zu lösen. In dieser Datenbank werden außerdem, ähnlich wie in dieser Arbeit mithilfe des Institutions-thesaurus, verschiedene Namen und Untereinheiten von Institutionen zusammengefasst. Sie gilt als eine der präzisesten Institutionsdatenbanken, die momentan zur Verfügung ste-

²<http://lattes.cnpq.br/english/> (abgerufen am 31. August 2010)

hen (Lane, 2010). Weitere Datenbanken wie diese könnten helfen, die Institutionen besser zuzuordnen. Eine anteilige Zuordnung wäre hier sicher ebenfalls sinnvoll (zum Beispiel, wenn eine Institution zu 30% Grundlagenforschung, zu 50% angewandte Forschung und zu 20% technologische Entwicklung betreibt).

Hinsichtlich der Subject-Area Quadrant-Allocation sollte eine weitere Befragung unter Wissenschaftlern durchgeführt werden, um die Anzahl der auswertbaren Fragebögen zu erhöhen. Die daraus gewonnenen Einordnungen der Subject Areas sollten dann mit den alten verglichen werden. Interessant wäre außerdem eine Untersuchung, wie Wissenschaftler verschiedener Forschungsinstitutionen die Subject Areas einordnen. Es wäre vorstellbar, dass zum Beispiel Forscher der Fraunhofer-Gesellschaft und Forscher der Max-Planck-Gesellschaft ein und dieselbe Subject Area tendenziell anders einordnen würden. Ob dies an ihrem Hintergrund oder an anderen Faktoren liegt, müsste in einer solchen Studie geklärt werden. Abgesehen davon befindet sich die Klassifizierung von Wissenschaft in einem steten Wandel. Möglicherweise kann in der Zukunft ein anderes Klassifikationssystem für wissenschaftliche Artikel als die Subject Areas des Web of Science genutzt werden.

Ich bin davon überzeugt, dass mithilfe zukünftiger Forschung die Instrumente der Informatik und Bibliometrie im Allgemeinen und jene der Footprintanalyse im Speziellen noch präziser und aussagekräftiger sein werden. Bei allen Fortschritten im Bereich dieser quantitativen Disziplin sollte aber nie vergessen werden, dass nicht angestrebt wird, eine vollends automatische Methode zu haben, welche viele verschiedene Daten auf genau eine Zahl oder einen Indikator reduziert. Die Bibliometrie dient vielmehr dazu große Mengen an Daten übersichtlicher und verständlicher zu machen, da das Abstrahieren von Informationen aus diesen Daten für einen einzelnen Menschen sonst nicht zu bewerkstelligen wäre. Die Bewertung und Interpretation dieser Informationen kann dagegen von der Bibliometrie selbst nicht geleistet werden. Der Mensch bleibt damit weiterhin wichtigstes Element einer solchen Analyse.

Literaturverzeichnis

- [Abbott u. a. 2010] ABBOTT, Alison; CYRANOSKI, David; JONES, Nicola; MAHER, Brendan; SCHIERMEIER, Quirin ; NOORDEN, Richard V.: Do metrics matter? In: *Nature* 465 (2010), S. 860–862
- [Abt 2007] ABT, Helmut A.: The publication rate of scientific papers depends only on the number of scientists. In: *Scientometrics* 73 (2007), S. 281–288
- [Adams 2005] ADAMS, Jonathan: Early citation counts correlate with accumulated impact. In: *Scientometrics* 63 (2005), Nr. 3, S. 567–581
- [Adams u. a. 2007] ADAMS, Jonathan; GURNEY, Karen ; MARSHALL, Stuart: Profiling citation impact: A new methodology. In: *Scientometrics* 72 (2007), S. 325–344
- [Adler u. a. 2009] ADLER, Robert; EWING, John ; TAYLOR, Peter: Rejoinder: Citation Statistics. In: *Statistical Science* 24 (2009), Nr. 1, S. 27–28
- [Adler u. Taylor 2008] ADLER, Robert; TAYLOR, Peter; EWING, John (Hrsg.): *Citation Statistics: A report from the International Mathematical Union (IMU) in cooperation with the International Council of Industrial and Applied Mathematics (ICIAM) and the Institute of Mathematical Statistics (IMS)*. Joint Committee on Quantitative Assessment of Research, 2008. – Online verfügbar unter: <http://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Report/> (abgerufen am 13. 11. 2008; 17:48 Uhr)
- [Aksnes 2003] AKSNES, Dag W.: A macro study of self-citation. In: *Scientometrics* 56 (2003), S. 235–246
- [Alcácer u. a. 2008] ALCÁCER, Juan; GITTELMAN, Michelle ; SAMPAT, Bhaven: Applicant and Examiner Citations in US Patents: An Overview and Analysis. In: *Harvard Business School Working Paper* July (2008), S. 1–43
- [ASTEC 1981] ASTEC: *Basic research and national objectives*. Australian Government Publishing Service, 1981. – Australian Science and Technology Council
- [Azoulay u. a. 2010] AZOULAY, Pierre; ZIVIN, Joshua S. G. ; WANG, Jialan: Superstar Extinction. In: *The Quarterly Journal of Economics* 2 (2010), S. 549–589
- [Babaa u. a. 2009] BABAA, Yasunori; SHICHIJO, Naohiro ; SEDITAC, Silvia R.: How do collaborations with universities affect firms’ innovative performance? The role of “Pasteur scientists” in the advanced materials field. In: *Research Policy* 38 (2009), S. 756–764

Literaturverzeichnis

- [Balconi u. a. 2010] BALCONI, Margherita; BRUSONI, Stefano ; ORSENIGO, Luigi: In defence of the linear model: An essay. In: *Research Policy* 39 (2010), S. 1–13
- [Baldi 1998] BALDI, Stephane: Normative versus social constructivist processes in the allocation of citations: A network-analytical model. In: *American Sociological Review* 63 (1998), S. 829–846
- [Baldini 2006a] BALDINI, Nicola: The Act on inventions at public research institutions: Danish universities' patenting activity. In: *Scientometrics* 69 (2006), S. 387–407
- [Baldini 2006b] BALDINI, Nicola: University patenting and licensing activity: a review of the literature. In: *Research Evaluation* 15 (2006), Dezember, S. 197–207
- [Ball 2007] BALL, Philip: Achievement index climbs the ranks. In: *Nature* 448 (2007), S. 737
- [Ball u. Tunger 2006] BALL, Rafael; TUNGER, Dirk: Science indicators revisited - Science Citation Index versus SCOPUS: A bibliometric comparison of both citation databases. In: *Information Services & Use* 26 (2006), S. 293–301
- [Bangerter u. Heath 2004] BANGERTER, Adrian; HEATH, Chip: The Mozart effect: Tracking the evolution of a scientific legend. In: *British Journal of Social Psychology* 43 (2004), S. 605–623
- [Bar-Ilan 2008] BAR-ILAN, Judit: Which h-index? - A comparison of WoS, Scopus and Google Scholar. In: *Scientometrics* 74 (2008), S. 257–271
- [Bass u. Kurgan 2010] BASS, Scott D.; KURGAN, Lukasz A.: Discovery of factors influencing patent value based on machine learning in patents in the field of nanotechnology. In: *Scientometrics* 82 (2010), S. 217–241
- [Belkhodja u. Landry 2007] BELKHODJA, Omar; LANDRY, Réjean: The Triple-Helix collaboration: Why do researchers collaborate with industry and the government? What are the factors that influence the perceived barriers? In: *Scientometrics* 70 (2007), Nr. 2, S. 301–332
- [Bellardo 1980] BELLARDO, Trudi: The use of co-citations to study science. In: *Library Research* 2 (1980), S. 231–237
- [Bengisu u. Nekhili 2006] BENGISU, Murat; NEKHILI, Ramzi: Forecasting emerging technologies with the aid of science and technology databases. In: *Technological Forecasting and Social Change* 73 (2006), S. 835–844
- [Berthold u. a. 2009] BERTHOLD, Norbert; KÖGEL, Dominik ; KULLAS, Matthias; THODE, Eric (Hrsg.): *Die Bundesländer im Innovationswettbewerb*. Bertelsmann Stiftung, 2009

- [Besenbacher u. a. 2009] BESENBACHER, F.; LAURITSEN, J. V.; LINDEROTH, T. R.; LAEGSGAARD, E.; VANG, R. T. ; WENDT, S.: Atomic-scale surface science phenomena studied by scanning tunneling microscopy. In: *Surface Science* 603 (2009), S. 1315–1327
- [Bettencourt u. a. 2008] BETTENCOURT, Luis M. A.; KAISER, David I.; KAUR, Jasleen; CASTILLO-CHAVEZ, Carlos ; WOJICK, David E.: Population modeling of the emergence and development of scientific fields. In: *Scientometrics* 75 (2008), Nr. 3, S. 495–518
- [Bettencourt u. a. 2006] BETTENCOURT, Luis M.; CINTRON-ARIAS, Ariel; KAISER, David I. ; VEZ, Carlos Castillo-Cha: The power of a good idea: Quantitative modeling of the spread of ideas from epidemiological models. In: *Physica A* 364 (2006), S. 513–536
- [Binnig u. Rohrer 1982] BINNIG, Gerd; ROHRER, Heinrich: Scanning tunneling microscopy. In: *Helvetica Physica Acta* 55 (1982), S. 726–735
- [Binnig u. a. 1982] BINNIG, Gerd; ROHRER, Heinrich; GERBER, Ch. ; WEIBEL, E.: Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. In: *Physical Review Letters* 49 (1982), Nr. 1, S. 57–61
- [Blümle 1979] BLÜMLE, Gerold: Paretos Gesetz. In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 8 (1979), S. 17
- [Boeing 2009] BOEING, Niels: Magie im Material. In: *Technology Review* 10 (2009), S. 74-85
- [Bollen u. a. 2009] BOLLEN, Johan; SOMPEL, Herbert V.; HAGBERG, Aric; BETTENCOURT, Luis; CHUTE, Ryan; RODRIGUEZ, Marko A. ; BALAKIREVA, Lyudmila: Clickstream Data Yields High-Resolution Maps of Science. In: *PLOS ONE* 4 (2009), Nr. 3, 1-11
- [Bollen u. de Sompel 2006] BOLLEN, Johann; SOMPEL, Herbert V.: Mapping the structure of science through usage. In: *Scientometrics* 69 (2006), Nr. 2, S. S. 227–258
- [Bonitz u. a. 1997] BONITZ, Manfred; BRUCKNER, Eberhard ; SCHARNHORST, Andrea: Characteristics and impact of the Matthew Effect for Countries. In: *Scientometrics* 40 (1997), S. 407–422
- [Bornmann 2011] BORNMANN, Lutz: Mimicry in science? In: *Scientometrics* 86 (2011), S. 173–177
- [Bornmann u. Daniel 2008] BORNMANN, Lutz; DANIEL, Hans-Dieter: What do citation counts measure? A review of studies on citing behavior. In: *Journal of Documentation* 64 (2008), Nr. 1, S. 45–80
- [Bornmann u. a. 2010] BORNMANN, Lutz; MOYA ANEGÓN, Félix de ; LEYDESDORFF, Loet: Does scientific advancement lean on the shoulders of mediocre research? An investigation of the Ortega hypothesis. In: *Eleventh International Conference on Science and Technology Indicators; Book of Abstracts*, 2010

Literaturverzeichnis

- [Boyack u. Klavans 2010] BOYACK, Kevin W.; KLAUVANS, Richard: Co-Citation Analysis, Bibliographic Coupling, and Direct Citation: Which Citation Approach Represents the Research Front Most Accurately? In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 12 (2010), S. 2389–2404
- [Bradford 1985] BRADFORD, Samuel C.: Sources of information on specific subjects. In: *Journal of Information Science* 10 (1985), Nr. 4, S. 176–180. – Es handelt sich hierbei um einen Nachdruck. Das Original erschien als: Bradford, S. C.: Sources of information on specific subjects. In: *Engineering, An Illustrated Weekly Journal* 137 (1934), Nr. 3550, S. 85–86
- [Brand 2008] BRAND, Leif: Metamaterialien mit negativem Brechungsindex. In: *Future Technologies Update* 1 (2008), S. 3–5. – Herunterladbar unter: <http://www.zukuenftigetechnologien.de/detail.php?c=463>
- [Brand u. a. 2009] BRAND, Leif; GIERLINGS, Marita; HOFFKNECHT, Andreas; WAGNER, Volker ; ZWECK, Axel: *Kohlenstoff-Nanoröhren; Technologieanalyse*. VDI - Technologiezentrum, 2009
- [Breschi u. Catalini 2010] BRESCHI, Stefano; CATALINI, Christian: Tracing the links between science and technology: An exploratory analysis of scientists' and inventors' networks. In: *Research Policy* 39 (2010), S. 14–26
- [Brink 2004] BRINK, Lars: String Theory - A short overview. In: *European Physical Journal C* 33 (2004), S. S906–S907
- [Britt u. a. 2008] BRITT, Barry L.; BERRY, Michael W. ; BROWNE, Murray: Document Classification Techniques for Automated Technology Readiness Level Analysis. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 59 (2008), Nr. 4, S. 675–680
- [Brooks 1967] BROOKS, Harvey: Applied science and technological progress. In: *Science* 156 (1967), S. 1706–1712
- [Brooks 1994] BROOKS, Harvey: The relationship between science and technology. In: *Research Policy* 23 (1994), S. 477–486
- [Burrell 2005] BURRELL, Quentin L.: Are Sleeping Beauties to be expected? In: *Scientometrics* 65 (2005), Nr. 3, S. 381–389
- [Bush 1960] BUSH, Vannevar: *Science: The Endless Frontier; A report to the President on a Program for Postwar Scientific Research*. National Science Foundation, 1960
- [Cadiou u. a. 2008] CADIOU, Yann; ARNOLD, Erik; ERIKSSON, Marie-Louise ; GOOD, Barbara: *Nordic Excellence: A Bibliometric Exploration of Common Nordic Research Funding Opportunities*. Technopolis Group, 2008. – Online verfügbar unter: <http://www.nordforsk.org/> (abgerufen am 13. 11. 2008; 17:15 Uhr)

- [Cahn 1970] CAHN, Robert W.: Case Histories of Innovations. In: *Nature* 225 (1970), S. 693–695
- [Callaert u. a. 2006] CALLAERT, Julie; LOOY, Bart V.; VERBEEK, Arnold; DEBACKERE, Koenraad ; THIJS, Bart: Traces of Prior Art: An analysis of non-patent references found in patent documents. In: *Scientometrics* 69 (2006), Nr. 1, S. 3–20
- [Campanario 1996] CAMPANARIO, Juan M.: Using Citation Classics to study the Incidence of Serendipity in Scientific Discovery. In: *Scientometrics* 37 (1996), Nr. 1, S. 3–24
- [Campbell 1999] CAMPBELL, P: Policy on papers' contributors. In: *Nature* 399 (1999), S. 393
- [Chao u. a. 2007] CHAO, Chia-Chen; YANG, Jiann-Min ; JEN, Wen-Yuan: Determining technology trends and forecasts of RFID by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005. In: *Technovation* 27 (2007), S. 268–279
- [Chavanne 1937] CHAVANNE, Charles G.: Procédé de transformation d'huiles végétales en vue de leur utilisation comme carburant. In: *Belgisches Patent* BE422877 (1937), Nr. 422877, S. 1–12
- [Chavanne 1943] CHAVANNE, Charles G.: Sur un Mode d'Utilisation Possible de l'Huile de Palme à la Fabrication d'un Carburant Lourd (A Method of Possible Utilization of Palm Oil for the Manufacture of a Heavy Fuel). In: *Bulletin de la Société Chimique de France* 10 (1943), S. 52–58
- [Chen 2004] CHEN, Chaomei: Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization. In: *PNAS* 101 (2004), S. 5303–5310
- [Choi u. Park 2009] CHOI, Changwoo; PARK, Yongtae: Monitoring the organic structure of technology based on the patent development paths. In: *Technological Forecasting & Social Change* 76 (2009), S. 754–768
- [Clauset u. a. 2009] CLAUSET, Aaron; SHALIZI, Cosma R. ; NEWMAN, Mark E. J.: Power-Law Distributions in Empirical Data. In: *Siam Review* 51 (2009), Nr. 4, S. 661–703
- [Cole u. Eales 1917] COLE, Francis J.; EALES, Nellie B.: The History of Comparative Anatomy. In: *Science Progress* 11 (1917), S. 578–596
- [Cole u. Cole 1972] COLE, Jonathan R.; COLE, Stephen: The Ortega Hypothesis. In: *Science* 178 (1972), S. 368–375
- [Costas u. a. 2010] COSTAS, Rodrigo; LEEUWEN, Thed N. ; RAAN, Anthony F. J.: Is Scientific Literature Subject to a 'Sell-By-Date'? A General Methodology to Analyze the 'Durability' of Scientific Documents. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 61 (2010), Nr. 2, S. 329–339

Literaturverzeichnis

- [Cronenbroeck 2004] CRONENBROECK, Wolfgang: *Handbuch: Internationales Projektmanagement*. Cornelsen, 2004
- [Cronin 1984] CRONIN, Blaise: *The Citation Process*. Taylor Graham, 1984
- [Daim u. a. 2006] DAIM, Tugrul U.; RUEDA, Guillermo; MARTIN, Hilary ; GERDSRI, Pisek: Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis. In: *Technological Forecasting and Social Change* 73 (2006), S. 981–1012
- [Dalton u. a. 2003] DALTON, Alan B.; COLLINS, Steve; MUÑOZ, Edgar; RAZAL, Joselito M.; EBRON, Howard; FERRARIS, John P.; COLEMAN, Jonathan N.; KIM, Bog G. ; BAUGHMAN, Ray H.: Super-tough carbon-nanotube fibres. In: *Nature* 423 (2003), S. 703
- [Debackere u. Glänzel 2004] DEBACKERE, Koenraad; GLÄNZEL, Wolfgang: Using a bibliometric approach to support research policy making: The case of the Flemish BOF-key. In: *Scientometrics* 59 (2004), Nr. 2, S. 253–276
- [Derrick u. a. 2010] DERRICK, G. E.; STURK, H.; HAYNES, A. S.; CHAPMAN, S. ; HALL, W. D.: A cautionary bibliometric tale of two cities. In: *Scientometrics* 84 (2010), S. 317–320
- [dpa 2010] DPA: Physik-Nobelpreis für Erforscher von Wundermaterial Graphen. In: *Spiegel Online* 05. Oktober (2010). – Online Publikation
- [Drösser 2010] DRÖSSER, Christoph: Professor Hes Zitate-Farm. In: *Zeit Online* 38 (16. September) (2010). – Online Publikation
- [Duden 2000] DUDEN; WERMKE, Dr. M. (Hrsg.): *Duden - Das große Fremdwörterbuch*. Dudenverlag, 2000
- [Enserink 2001] ENSERINK, Martin: Peer review and quality: a dubious connection. In: *Science* 293 (2001), S. 2187-2188
- [Frame u. Carpenter 1979] FRAME, JD; CARPENTER, MP: International Research Collaboration. In: *Social Studies of Science* 9 (1979), S. 481-497
- [Freeman 1996] FREEMAN, Chris: The Greening of Technology and Models of Innovation. In: *Technological Forecasting and Social Change* 53 (1996), S. 27–39
- [Frey u. Osterloh 2010] FREY, Bruno S.; OSTERLOH, Margit: Motivate people with prizes. In: *Nature* 465 (2010), S. 871
- [Gamov 1980] GAMOV, George; SEXL, Roman U. (Hrsg.): *Mr. Tompkins' seltsame Reisen durch Kosmos und Mikrokosmos*. Vieweg, 1980
- [Garfield 1955] GARFIELD, Eugene: Citation indexes for science. A new dimension in documentation through association of ideas. In: *Science* 122 (1955), S. 108–111

- [Garfield 1964] GARFIELD, Eugene: 'Science Citation Index' – A new Dimension in Indexing. In: *Science* 144 (1964), S. 649–654
- [Garfield 1970] GARFIELD, Eugene: Can Citation Indexing be automated? In: *Current Contents* 1 (1970), S. 84–90
- [Garfield 1979] GARFIELD, Eugene: Is Citation Analysis a legitimate evaluation Tool? In: *Scientometrics* 1 (1979), Nr. 4, S. 359–375
- [Garfield 1980] GARFIELD, Eugene: Premature Discoverie or Delayed Recognition - Why? In: *Current Contents* 4 (1980), S. 488–493
- [Garfield 2002] GARFIELD, Eugene: Demand Citation Vigilance. In: *The Scientist* 16 (2002), Nr. 2, S. 6
- [Garfield 2008] GARFIELD, Eugene: Celebrating the legacy of de Solla Price. In: *Research Trends* 7 (2008), S. 2
- [Glänzel u. Garfield 2004] GLÄNZEL, Wolfgang; GARFIELD, Eugene: The Myth of Delayed Recognition. In: *The Scientist* 18 (2004), 8
- [Glänzel u. Meyer 2003] GLÄNZEL, Wolfgang; MEYER, Martin: Patents cited in the scientific literature: An exploratory study of 'reverse' citation relations. In: *Scientometrics* 58 (2003), Nr. 2, S. 415–428
- [Glänzel u. Schubert 2004] GLÄNZEL, Wolfgang; SCHUBERT, András: Analysing Scientific Networks through Co-Authorship. In: MOED, Henk F. (Hrsg.); GLÄNZEL, Wolfgang (Hrsg.) ; SCHMOCH, Ulrich (Hrsg.): *Handbook of Quantitative Science and Technology Research, The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*. Kluwer Academic Publishers, 2004, S. 257–276
- [Godin 2008] GODIN, Benoît: The Linear Model of Innovation (II): Maurice Holland and the Research Cycle. In: *Project on the Intellectual History of Innovation II/Working Paper No.3* (2008), S. 6
- [Grange u. a. 2007] GRANGE, Rachel (Hrsg.); MAYE, Isabelle (Hrsg.); ESCHER, Gérard (Hrsg.); SABO, Müfit (Hrsg.); WIRTH, Corina (Hrsg.); WERLEN, Raymond (Hrsg.) ; PEREIRA, Tiago (Hrsg.): *Bibliometrische Untersuchung zur Forschung in der Schweiz - Bericht des Staatssekretariats für Bildung und Forschung*. Staatssekretariat für Bildung und Forschung, 2007
- [Green u. Schwarz 1984] GREEN, Michael B.; SCHWARZ, John H.: Anomaly cancellations in supersymmetric $D = 10$ gauge theory and superstring theory. In: *Physics Letters* 149B(1,2,3) (1984), S. 117–122

Literaturverzeichnis

- [Gritzmann 2009] GRITZMANN, Peter: Publikationsverhalten in der Mathematik. In: *Publikationsverhalten in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen. Beiträge zur Beurteilung von Forschungsleistungen*. Alexander-von-Humboldt-Stiftung, 2009
- [Grupp u. Schmoch 1992] GRUPP, Hariolf; SCHMOCH, Ulrich: *Wissenschaftsbindung der Technik*. Heidelberg : Physica Verlag, 1992
- [Guan u. He 2007] GUAN, Jiancheng; HE, Ying: Patent-bibliometric analysis on the Chinese science – technology linkages. In: *Scientometrics* 72 (2007), Nr. 3, S. 403–425
- [Hahn 2009] HAHN, Ekkehard: Publikationsverhalten in der Chemie. In: *Publikationsverhalten in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen. Beiträge zur Beurteilung von Forschungsleistungen*. Alexander-von-Humboldt-Stiftung, 2009
- [Hall 2009] HALL, Peter G.: Comment: Citation Statistics. In: *Statistical Science* 24 (2009), Nr. 1, S. 25–26
- [Haustein 2008] HAUSTEIN, Stefanie: Wisskom 2007 - Wissenschaftskommunikation der Zukunft. In: *ProLibris* 1 (2008), S. 42
- [Havemann 2009] HAVEMANN, Frank: *Einführung in die Bibliometrie*. Institut für Bibliotheks- und Informationswissenschaft der Humboldt-Universität zu Berlin, 2009
- [Hawking 2007] HAWKING, Stephen: *Die illustrierte kurze Geschichte der Zeitschriften*. Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2007
- [Helmholtz 1862] HELMHOLTZ, Hermann Ludwig F.: *Ueber das Verhältniß der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaften*. Georg Mohr, Heidelberg, 1862
- [Hess 2008] HESS, Ortwin: Farewell to Flatland. In: *Nature* 455 (2008), S. 299–300
- [Hirsch 2005] HIRSCH, Jorge E.: An index to quantify an individual's scientific research output. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102 (2005), S. 16569–16572
- [Ho 2009] HO, Yuh-Shan: Comments on 'Determining technology trends and forecasts of RFID by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005'. In: *Technovation* 29 (2009), Nr. 10, S. 725–727
- [Honsel 2010] HONSEL, Gregor: Die Software schwitzt mit. In: *Technology Review* 5 (2010), S. 63
- [Hornbostel u. von Ins 2009] HORNBOSTEL, Stefan; INS, Markus von: Leistungsmessung in der Forschung - Erfordernis oder Vermessenheit? In: *Laborwelt* 10 (2009), S. 34–35
- [Hsu u. Huang 2009] HSU, Jiann-Wien; HUANG, Ding-Wei: Distribution for the number of coauthors. In: *Physical Review E* 80 (2009), Nr. 5, S. 57101

- [Iijima 1991] IIJIMA, Sumio: Helical Microtubules of Graphitic Carbon. In: *Nature* 354 (1991), S. 56–58
- [Jansen 1995] JANSEN, Dorothea: Convergence of Basic and Applied Research? Research Orientations in German High-Temperature Superconductor Research. In: *Science, Technology & Human Values* 20 (1995), S. 197–233
- [Jasienski 2009] JASIENSKI, Michal: Garfield's demon and surprising or unexpected results in science. In: *Scientometrics* 78 (2009), Nr. 2, S. 347–353
- [Jiménez-Contreras u. a. 2002] JIMÉNEZ-CONTRERAS, Evaristo; LÓPEZ-CÓZAR, Emilio D.; RUIZ-PÉREZ, Rafael ; FERNÁNDEZ, Victor M.: Impact-factor rewards affect Spanish research. In: *Nature* 417 (2002), S. 898
- [Jovanovic 2007] JOVANOVIĆ, Milos: Footprints through Science - Using Citations to assess the path towards applicability. In: *ISSI Newsletter* Bd. 3, 2007, S. 16
- [Jovanovic u. a. 2009] JOVANOVIĆ, Milos; JOHN, Marcus ; RESCHKE, Stefan: Footprint analysis - the example of metamaterials. In: *ISSI 2009, 12th International Conference on Scientometrics and Informetrics. Proceedings* Bd. 2, International Society for Scientometrics and Informetrics, 2009, S. 948–949
- [Järvenpää u. a. 2011] JÄRVENPÄÄ, Heini M.; MÄKINEN, Saku J. ; SEPPÄNEN, Marko: Patent and publishing activity sequence over a technology's life cycle. In: *Technological Forecasting & Social Change* 78 (2011), Nr. 2, S. 283–293
- [Judex 2008] JUDEX, Rainer: Fahrzeugbauteil. In: *Deutsches Patent* DE102007060870 (2008), Nr. DE102007060870, S. 1–6
- [Julius H. Comroe u. Dripps 1976] JULIUS H. COMROE, Jr.; DRIPPS, Robert D.: Scientific Basis for the Support of Biomedical Science. In: *Science* 192 (1976), S. 106–111
- [Kessler 1963] KESSLER, M. M.: Bibliographic Coupling between Scientific Papers. In: *American Documentation* 14 (1963), S. 10–25
- [Kidd 1959] KIDD, Charles V.: Basic Research - Description versus Definition. In: *Science* 129 (1959), S. 368–371
- [Kiritsis 2007] KIRITSIS, Elias: *String Theory in a Nutshell*. Princeton University Press, 2007
- [Knaf u. Heubach 2008] *Kapitel Den Reifegrad einer Technologie mit dem Technologiekompass bestimmen*. In: KNAF, Hagen; HEUBACH, Daniel: *Fokus Technologie. Chancen erkennen, Leistungen entwickeln*. Hanser, 2008, S. 147–174
- [Knothe u. a. 2005] KNOTHE, Gerhard (Hrsg.); GERPEN, Jon V. (Hrsg.) ; KRAHL, Jürgen (Hrsg.): *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press, 2005

Literaturverzeichnis

- [Kohlhoff 1998] KOHLHOFF, Jürgen: Fullerene. In: *Soldat und Technik* 41 (1998), Nr. 1, S. 78
- [Kroto u. a. 1985] KROTO, Harold W.; CURL, Robert F.; SMALLEY, Richard E.; O'BRIEN, Sean ; HEATH, James R.: C60: Buckminsterfullerene. In: *Nature* 318 (1985), S. 162–163
- [Kroto u. a. 2001] KROTO, Harold W.; CURL, Robert F.; SMALLEY, Richard E.; O'BRIEN, Sean ; HEATH, James R.: How the news that we were not the first to conceive of soccer ball C60 got to us. In: *Journal of Molecular Graphics and Modelling* 19 (2001), S. 185–186
- [Krätschmer u. a. 1990] KRÄTSCHMER, W.; LAMB, Lowell D.; FOSTIROPOULOS, K. ; HUFFMAN, Donald R.: Solid C60: a new form of carbon. In: *Nature* 347 (1990), S. 354–358
- [Kuhn 1977] KUHN, Thomas S.: *The Essential Tension; Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. University of Chicago Press, 1977
- [Kuk u. Silverman 1989] KUK, Y.; SILVERMAN, P. J.: Scanning tunneling microscope instrumentation. In: *Review of scientific instruments* 60 (1989), Nr. 2, S. 165–180
- [Lane 2010] LANE, Julia: Let's make science metrics more scientific. In: *Nature* 464 (2010), S. 488–489
- [Larivière u. Gingras 2010] LARIVIÈRE, Vincent; GINGRAS, Yves: The impact factor's Matthew effect: a natural experiment in bibliometrics. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 61 (2010), Nr. 2, S. 424–427
- [Larsen u. von Ins 2010] LARSEN, Peder O.; INS, Markus von: The rate of growth in scientific publication and the decline in coverage provided by Science Citation Index. In: *Scientometrics* 84 (2010), S. 575–603
- [Layton 1971] LAYTON, Edwin: Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-Century America. In: *Technology and Culture* 12 (1971), Nr. 4, S. 562–580
- [Lee u. a. 2009] LEE, Sungjoo; YOON, Byungun; LEE, Changyong ; PARK, Jinwoo: Business planning based on technological capabilities: Patent analysis for technology-driven roadmapping. In: *Technological Forecasting & Social Change* 76 (2009), S. 769–786
- [Lehmann u. a. 2009] LEHMANN, Sune; LAUTRUP, Benny E. ; JACKSON, Andrew D.: Comment: Citation Statistics. In: *Statistical Science* 24 (2009), Nr. 1, S. 17–20
- [Lehming 2010] LEHMING, Malte: Eier, Samen, Leben. In: *Tagesspiegel* 13. 7. (2010), S. Meinung. – Herunterladbar unter: <http://www.tagesspiegel.de/meinung/eier-samen-leben/1882494.html>

- [Lemos u. Porto 1998] LEMOS, Angela D.; PORTO, Antonio C.: Technological forecasting techniques and competitive intelligence: tools for improving the innovation process. In: *Industrial Management & Data Systems* 98 (1998), Nr. 7, S. 330–337
- [Leydesdorff u. Meyer 2010] LEYDESDORFF, Loet; MEYER, Martin: The decline of university patenting and the end of the Bayh-Dole effect. In: *Scientometrics* 83 (2010), Nr. 2, S. 355–362
- [Leydesdorff u. Rafols 2009] LEYDESDORFF, Loet; RAFOLS, Ismael: A Global Map of Science Based on the ISI Subject Categories. In: *Journal of the American Society for Information and Technology* 60 (2009), Nr. 2, S. 348–362
- [Liu u. a. 2005] LIU, C. N.; CHENG, Y. ; LIU, L.: Academic ranking of world universities using scientometrics - A comment to the “Fatal Attraction”. In: *Scientometrics* 64 (2005), Nr. 1, S. 101–109
- [Lok 2010] LOK, Corie: Speed Reading. In: *Nature* 463 (2010), S. 416–418
- [van Looy u. a. 2007] LOOY, Bart van; MAGERMAN, Tom ; DEBACKERE, Koenraad: Developing technology in the vicinity of science: An examination of the relationship between science intensity (of patents) and technological productivity within the field of biotechnology. In: *Scientometrics* 70 (2007), Nr. 2, S. 441–458
- [van Looy u. a. 2003] LOOY, Bart van; ZIMMERMANN, Edwin; VEUGELERS, Reinhilde; VERBEEK, Arnold; MELLO, Johanna ; DEBACKERE, Koenraad: Do science-technology interactions pay off when developing technology? An exploratory investigation of 10 science-intensive technology domains. In: *Scientometrics* 57 (2003), Nr. 3, S. 355–367
- [Lucio-Arias u. Leydesdorff 2007] LUCIO-ARIAS, Diana; LEYDESDORFF, Loet: Knowledge emergence in scientific communication: from “fullerenes“ to “nanotubes“. In: *Scientometrics* 70 (2007), S. 603–632
- [Luther u. a. 2004] LUTHER, Wolfgang; MALANOWSKI, Norbert; BACHMANN, Gerd; HOFFKNECHT, Andreas; HOLTMANNSPÖTTER, Dirk; ZWECK, Axel; HEIMER, Thomas; SANDERS, Hermann; WERNER, Matthias; MIETKE, Stephan ; KÖHLER, Thomas: *Innovations- und Technikanalyse: Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt*. Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH, 2004
- [Luukkonen 1997] LUUKKONEN, Terttu: Why has Latour’s Theory of Citations been ignored by the bibliometric Community? Discussion of sociological Interpretations of Citation Analysis. In: *Scientometrics* 38 (1997), Nr. 1, S. 27–37
- [Luwel u. Moed 1998] LUWEL, Marc; MOED, Henk F.: Publication delays in the science field and their relationship to the ageing of scientific literature. In: *Scientometrics* 41 (1998), S. 29–40

Literaturverzeichnis

- [Mabe u. Amin 2002] MABE, Michael A.; AMIN, Mayur: Dr Jekyll and Dr Hyde: author-reader asymmetries in scholarly publishing. In: *ASLIB Proceedings* 54 (2002), Nr. 3, S. 149–157
- [Macilwain 2010] MACILWAIN, Colin: What science is really worth. In: *Nature* 465 (2010), S. 682–684
- [MacRoberts u. MacRoberts 1996] MACROBERTS, Michael H.; MACROBERTS, Barbara R.: Problems of Citation Analyses. In: *Scientometrics* 36 (1996), Nr. 3, S. 435–444
- [Magerman u. a. 2010] MAGERMAN, Tom; LOOY, Bart V. ; SONG, Xiaoyan: Exploring the feasibility and accuracy of Latent Semantic Analysis based text mining techniques to detect similarity between patent documents and scientific publications. In: *Scientometrics* 82 (2010), S. 289–306
- [del Mar Camacho-Minano u. Nunez-Nickel 2009] MAR CAMACHO-MINANO, Maria del; NUNEZ-NICKEL, Manuel: The Multilayered Nature of Reference Selection. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 60 (2009), Nr. 4, S. 754–777
- [Marsh u. a. 2008] MARSH, Herbert W.; JAYASINGHE, Upali W. ; BOND, Nigel W.: Improving the Peer-Review Process for Grant Applications. In: *American Psychologist* 63 (2008), S. 160–168
- [Martinez 2011] MARTINEZ, Catalina: Patent families: When do different definitions really matter? In: *Scientometrics* 86 (2011), S. 39–63
- [Marx u. Gramm 2002] MARX, Werner; GRAMM, Gerhard: *Literaturflut - Informationslawine - Wissensexplosion; Wächst der Wissenschaft das Wissen über den Kopf?* Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, 2002. – Online publiziert unter: <http://www.fkf.mpg.de/ivs/literaturflut.html>
- [Mendel 1866] MENDEL, Gregor J.: Versuche über Pflanzen-Hybriden. In: *Verhandlungen des naturforschenden Vereins zu Brünn*. Brünn : Naturforschender Verein zu Brünn, 1866, S. 3–47
- [Merton 1957] MERTON, Robert K.: Priorities in scientific discovery. In: *American Sociological Review* 22 (1957), Nr. 6, S. 635–659
- [Merton 1968] MERTON, Robert K.: Matthew Effect in Science. In: *Science* 159 (1968), S. 56–63
- [Meyer 2000a] MEYER, Martin: Does science push technology? Patents citing scientific literature. In: *Research Policy* 29 (2000), S. 409–434

- [Meyer 2000b] MEYER, Martin: Patent citations in a novel field of technology - What can they tell about interactions between emerging communities of science and technology? In: *Scientometrics* 48 (2000), Nr. 2, S. 151–178
- [Meyer 2000c] MEYER, Martin: What is special about patent citations? Differences between scientific and patent citations. In: *Scientometrics* 49 (2000), Nr. 1, S. 93–123
- [Meyer u. Tang 2007] MEYER, MS; TANG, P: Exploring the „value“ of academic patents: IP management practices in UK universities and their implications for Third-Stream indicators. In: *Scientometrics* 70 (2007), S. 415–440
- [Meyer-Krahmer u. Schmoch 1998] MEYER-KRAHMER, Frieder; SCHMOCH, Ulrich: Science-based technologies: university–industry interactions in four fields. In: *Research Policy* 27 (1998), S. 835–851
- [Meyers 2007] MEYERS (Hrsg.): *Meyers Lexikon Online*. Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG, 2007. – Abrufbar unter: <http://lexikon.meyers.de/index.php?title=Informationszeitalter&oldid=121367>
- [Michel u. Bettels 2001] MICHEL, Jacques; BETTELS, Bernd: Patent citation analysis - A closer look at the basic input data from patent search reports. In: *Scientometrics* 51 (2001), Nr. 1, S. 185–201
- [Modis 2005] MODIS, Theodore: The end of the internet rush. In: *Technological Forecasting & Social Change* 72 (2005), S. 938–943
- [Moed 2005] MOED, Henk F.: *Citation Analysis in Research Evaluation*. Springer, 2005
- [Monthioux u. Kuznetsov 2006] MONTHIOUX, Marc; KUZNETSOV, Vladimir L.: Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes? In: *Carbon* 44 (2006), S. 1621–1623
- [Nagaoka 2007] NAGAOKA, Sadao: Assessing the R&D Management of a Firm in Terms of Speed and Science Linkage: Evidence from the US Patents. In: *Journal of Economics & Management Strategy* 16 (2007), Nr. 1, S. 129–156
- [Nakeuchi u. Nonaka 1986] NAKEUCHI, Hirotaka; NONAKA, Ikujiro: The New New Product Development Game. In: *Harvard Business Review* 64 (1986), S. 137–146
- [Narin 1994] NARIN, Francis: Patent Bibliometrics. In: *Scientometrics* 30 (1994), Nr. 1, S. 147–155
- [Narin u. a. 2004] NARIN, Francis; BREITZMAN, Anthony ; THOMAS, Patrick: Using Patent Citation Indicators to manage a Stock Portfolio. In: MOED, Henk F. (Hrsg.); GLÄNZEL, Wolfgang (Hrsg.) ; SCHMOCH, Ulrich (Hrsg.): *Handbook of Quantitative Science and Technology Research, The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*. Kluwer Academic Publishers, 2004, S. 553–567

Literaturverzeichnis

- [Narin u. a. 1997] NARIN, Francis; HAMILTON, Kimberly S. ; OLIVASTRO, Dominic: The increasing linkage between U.S. technology and public science. In: *Research Policy* 26 (1997), S. 317–330
- [Narin u. Noma 1985] NARIN, Francis; NOMA, E.: Is Technology becoming Science? In: *Scientometrics* 7 (1985), S. 369–381
- [Newman 2005] NEWMAN, Mark E. J.: Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. In: *Contemporary Physics* 46 (2005), Nr. 5, S. 323–351
- [van Noorden 2010] NOORDEN, Richard van: A profusion of measures. In: *Nature* 465 (2010), S. 864–866
- [Noyons u. a. 2010] NOYONS, Ed C. M.; WALTMAN, Ludo; KÄHLER, Ove ; ECK, Nees J.: Developing a comprehensive Scopus journal classification scheme using bibliometric. In: *Eleventh International Conference on Science and Technology Indicators; Book of Abstracts*, 2010, S. 208–210
- [OECD 2002] OECD (Hrsg.): *Frascati Manual: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development*. OECD Publications Service, 2002. – Bestellbar unter: <http://www.oecdbookshop.org/>
- [OECD 2010] OECD: *Measuring Innovation: A New Perspective*. OECD Publications Service, 2010
- [Ortega 1932] ORTEGA, José: *The revolt of the masses*. Norton, 1932
- [Osawa 1970] OSAWA, Eiji: Superaromaticity. In: *Kagaku* 25 (1970), S. 854–863
- [Osawa 1993] OSAWA, Eiji: The evolution of the football structure for the C60 molecule: a retrospective. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 343 (1993), S. 1–8
- [Osuna u. a. 2011] OSUNA, Carmen; CRUZ-CASTRO, Laura ; SANZ-MENENDEZ, Luis: Overturning some assumptions about the effects of evaluation systems on publication performance. In: *Scientometrics* 86 (2011), S. 575–592
- [Ota 2002] OTA, Masahiro: The Carbon Nanotube, a Product of Nanotechnology. In: *Aichi Voice* 15 (2002). – Online Publikation
- [Pasteur 1871] PASTEUR, Louis: La science en France. In: *La revue scientifique* 2 (1871), Nr. 1, S. 73–77
- [Patentgesetz 2008] PATENTGESETZ, Deutsches: *Patentgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Dezember 1980 (BGBl. 1981 I S. 1), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 7. Juli 2008 (BGBl. I S. 1191)*. Bundesministerium der Justiz, 2008
- [Pendry 2000] PENDRY, John B.: Negative Refraction makes a perfect lens. In: *Physical Review Letters* 85 (2000), S. 3966–3969

- [Pigliucci 2009] PIGLIUCCI, Massimo: The end of theory in science? In: *European Molecular Biology Organization Reports* 10 (2009), S. 534
- [Pinski u. Narin 1976] PINSKI, Gabriel; NARIN, Francis: Citation Influence for Journal Aggregates of Scientific Publications - Theory, with Application to Literature of Physics. In: *Information Processing & Management* 12 (1976), Nr. 5, S. 297–312
- [Pipp 2006] PIPP, Eveline: Vergleich der von Scopus bzw. Web of Science erfassten Zeitschriften. In: *Online-Mitteilungen* 85 (2006), S. 3–17
- [Porter 1980] PORTER, Martin F.: An algorithm for suffix stripping. In: *Program - Automated Library and Information Systems* 14 (1980), Nr. 3, S. 130–137
- [Price 1965] PRICE, Derek J. De S.: Is technology historically independent of science? A study in statistical historiography. In: *Technology and Culture* 6 (1965), Nr. 4, S. 553–568
- [van Raan 1998] RAAN, Anthony F. J.: In Matters of Quantitative Studies of Science the Fault of Theorists is offering too little and asking too much. In: *Scientometrics* 43 (1998), Nr. 1, S. 129–139
- [van Raan 2004a] RAAN, Anthony F. J.: Measuring Science, Capita Selecta of Current Main Issues. In: MOED, Henk F. (Hrsg.); GLÄNZEL, Wolfgang (Hrsg.) ; SCHMOCH, Ulrich (Hrsg.): *Handbook of Quantitative Science and Technology Research, The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*. Kluwer Academic Publishers, 2004, S. 19–50
- [van Raan 2004b] RAAN, Anthony F. J.: Sleeping Beauties in science. In: *Scientometrics* 59 (2004), Nr. 3, S. 467–472
- [van Raan 2005a] RAAN, Anthony F. J.: Correspondence: Reply to the comments of Liu et al. In: *Scientometrics* 64 (2005), S. 111–112
- [van Raan 2005b] RAAN, Anthony F. J.: Fatal Attraction: Conceptual and methodological problems in the ranking of universities by bibliometric methods. In: *Scientometrics* 62 (2005), Nr. 1, S. 133–143
- [Radushkevich u. Lukyanovich 1952] RADUSHKEVICH, LV; LUKYANOVICH, VM: O strukture ugleroda, obrazujucesja pri termiceskom razlozenii okisi ugleroda na zeleznom kontakte. In: *Zhurnal Fizicheskoi Khimii* 26 (1952), S. 88–95
- [Rafols u. Leydesdorff 2009] RAFOLS, Ismael; LEYDESDORFF, Loet: Content-based and Algorithmic Classifications of Journals: Perspectives on the Dynamics of Scientific Communication and Indexer Effects. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 60 (2009), Nr. 9, S. 1823–1835. – Preprint herunterladbar unter: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0812/0812.4332.pdf>

Literaturverzeichnis

- [Rau u. a. 2010] RAU, Alex; TOKER, Rob ; HOWARD, Joanne: Kann Technik den Klimawandel verhindern? In: *Harvard Business Manager* 6 (2010), S. 19.08.2010. – Herunterladbar unter: <http://www.harvardbusinessmanager.de/heft/artikel/a-697648-3.html>
- [Reagan 1967] REAGAN, Michael D.: Basic and Applied Research: A Meaningful Distinction? In: *Science* 155 (1967), S. 1383–1386
- [Reschke u. a. 2008a] RESCHKE, Stefan; GRÜNE, Matthias ; KOHLHOFF, Jürgen: Ausgewählte Arbeitsergebnisse - Ausgewählte Entwicklungen im Bereich Werkstoffe. In: *Jahresbericht 2008*. Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, 2008, S. 35–36
- [Reschke u. a. 2008b] RESCHKE, Stefan; KOHLHOFF, Jürgen ; GRÜNE, Matthias: Werkstofftrends: Selbstheilende Werkstoffe. In: *Werkstoffe in der Fertigung* 6 (2008), S. 3
- [Ricker u. a. 2009] RICKER, Martin; HERNANDEZ, Hector M. ; DALY, Douglas C.: Measuring scientists' performance: A view from organismal biologists. In: *Interciencia* 34 (2009), Nr. 11, S. 830–835
- [Rosenberg 1990] ROSENBERG, Nathan: Why do firms do basic research (with their own money)? In: *Research Policy* 19 (1990), S. 165–174
- [Rosenberg 1991] ROSENBERG, Nathan: Critical Issues in Science Policy Research. In: *Science and Public Policy* 18 (1991), S. 335–345
- [Rosenberg 1992] ROSENBERG, Nathan: Scientific instrumentation and university research. In: *Research Policy* 21 (1992), S. 381–390
- [Salter u. Martin 2001] SALTER, Ammon J.; MARTIN, Ben R.: The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review. In: *Research Policy* 30 (2001), S. 509–532
- [Schlögl u. Stock 2008] SCHLÖGL, Christian; STOCK, Wolfgang G.: Practitioners and academics as authors and readers: the case of LIS journals. In: *Journal of Documentation* 64 (2008), Nr. 5, S. 643–666
- [Schmoch 1993] SCHMOCH, Ulrich: Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in Patent Indicators. In: *Scientometrics* 26 (1993), Nr. 1, S. 193–211
- [Schmoch 1997] SCHMOCH, Ulrich: Indicators and the relations between science and technology. In: *Scientometrics* 38 (1997), 103-116
- [Schmoch 2004] SCHMOCH, Ulrich: The technological Output of scientific Institutions. In: MOED, Henk F. (Hrsg.); GLÄNZEL, Wolfgang (Hrsg.) ; SCHMOCH, Ulrich (Hrsg.): *Handbook of Quantitative Science and Technology Research, The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*. Kluwer Academic Publishers, 2004, S. 717–731

- [Schmoch 2007] SCHMOCH, Ulrich: Double-boom cycles and the comeback of science-push and market-pull. In: *Research Policy* 36 (2007), S. 1000–1015
- [Schmoch u. Frietsch 2006] SCHMOCH, Ulrich; FRIETSCH, Rainer: Typical development paths of knowledge-based technologies. In: *Book of Abstracts of the 9th International Conference on Science & Technology Indicators (07-09th September 2006, Leuven, Belgium)* 1 (2006), S. 129–130
- [Schmoch u. Schubert 2009] SCHMOCH, Ulrich; SCHUBERT, Torben: Sustainability of incentives for excellent research – The German case. In: *Scientometrics* 81 (2009), Nr. 1, S. 195–218
- [Schnabel 2009] SCHNABEL, Ulrich: Die Wiederentdeckung der Muße. In: *Die ZEIT* 30. Dezember (2009), Nr. 1, S. 1–6
- [Schütte 2009] SCHÜTTE, Georg (Hrsg.): *Publikationsverhalten in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen: Beiträge zur Beurteilung von Forschungsleistungen*. Alexander-von-Humboldt-Stiftung, 2009
- [Schuh 2009] SCHUH, Christina: Publikationsverhalten im Überblick – eine Zusammenfassung der einzelnen Diskussionsbeiträge. In: *Publikationsverhalten in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen. Beiträge zur Beurteilung von Forschungsleistungen*. Alexander-von-Humboldt-Stiftung, 2009, S. 6–13
- [Schultz u. Joutz 2010] SCHULTZ, Laura I.; JOUTZ, Frederick L.: Methods for identifying emerging General Purpose Technologies: a case study of nanotechnologies. In: *Scientometrics* 85 (2010), S. 155–170
- [Schurig u. a. 2006] SCHURIG, D.; MOCK, J. J.; JUSTICE, B. J.; CUMMER, S. A.; PENDRY, J. B.; STARR, A. F. ; SMITH, D. R.: Metamaterial Electromagnetic Cloak at Microwave Frequencies. In: *Science* 314 (2006), S. 977–980
- [Schwägerl 2009] SCHWÄGERL, Christian: Licht aus im Land der Tüftler und Denker. In: *SPIEGEL* 05. Mai (2009), S. Online. – Abrufbar unter: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,622927,00.html>
- [Science 2001] SCIENCE: Corrections and Clarifications. In: *Science* 294 (2001), S. 1463
- [Sherwin u. Isenson 1967] SHERWIN, Chalmers W.; ISENSON, Raymond S.: Project Hindsight: A Defense Department study of the utility of Research. In: *Science* 156 (1967), S. 1571–77
- [Shibata u. a. 2009] SHIBATA, Naoki; KAJIKAWA, Yuya; TAKEDA, Yoshiyuki ; MATSUSHIMA, Katsumori: Comparative Study on Methods of Detecting Research Fronts Using Different Types of Citation. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 60 (2009), Nr. 3, S. 571–580

Literaturverzeichnis

- [Silverman 2009] SILVERMAN, Bernard W.: Comment: Bibliometrics in the Context of the UK Research Assessment Exercise. In: *Statistical Science* 24 (2009), Nr. 1, S. 15–16
- [Singh 2007] SINGH, Jasjit: Asymmetry of Knowledge Spillovers between MNCs and Host Country Firms. In: *Journal of International Business Studies* 38 (2007), Nr. 5, S. 764–786
- [Small 1973] SMALL, Henry: Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. In: *Journal of the American Society for Information Science* 24 (1973), S. 265–269
- [Small 2004] SMALL, Henry: On the shoulders of Robert Merton: Towards a normative theory of citation. In: *Scientometrics* 60 (2004), Nr. 1, S. 71–79
- [Smith u. Strong 2008] SMITH, David J. H.; STRONG, Gillian T.: Science and technology horizon scanning: opening the pathways for innovation. In: *Codex* 1 (2008), S. 1–5
- [Smith 1981] SMITH, Linda C.: Citation Analysis. In: *Library Trends* 30 (1981), Nr. 1, S. 83–106
- [de Solla Price 1974] SOLLA PRICE, Derek J.: *Little Science, Big Science; Von der Studierstube zur Großforschung*. Suhrkamp, 1974
- [Spiegel 1965] SPIEGEL: Sieg der Mikrosekunde. In: *Der Spiegel* 22 (1965), S. 52–66
- [Spiegelhalter u. Goldstein 2009] SPIEGELHALTER, David; GOLDSTEIN, Harvey: Comment: Citation Statistics. In: *Statistical Science* 24 (2009), Nr. 1, S. 21–24
- [Stock u. Weber 2006] STOCK, Wolfgang G.; WEBER, Sonja: Facets of Informetrics. In: *Information - Wissenschaft und Praxis* 57 (2006), Nr. 8, S. 385–389
- [Stokes 1997] STOKES, Donald E.: *Pasteur's Quadrant: Basic Science and Technological Innovation*. Brookings Institution Press, 1997
- [Surowiecki 2004] SUROWIECKI, James: *The Wisdom of Crowds*. Anchor Books, 2004
- [Száva-Kováts 2004] SZÁVA-KOVÁTS, Endre: The false 'Ortega Hypothesis': a literature science case study. In: *Journal of Informaion Science* 30 (2004), Nr. 6, S. 496–508
- [Tamada u. a. 2006] TAMADA, Schumpeter; NAITO, Yusuke; KODAMA, Fumio; GEMBA, Kiminori ; SUZUKI, Jun: Significant difference of dependence upon scientific knowledge among different technologies. In: *Scientometrics* 68 (2006), Nr. 2, S. 289–302
- [Tang u. a. 2001] TANG, Z. K.; ZHANG, Lingyun; WANG, N.; ZHANG, X. X.; WEN, G. H.; LI, G. D.; WANG, J. N.; CHAN, C. T. ; SHENG, Ping: Superconductivity in 4 Angstrom Single-Walled Carbon Nanotubes. In: *Science* 292 (2001), S. 2462–2465

- [Testa 2006] TESTA, James: The Thomson Scientific journal selection process. In: *International Microbiology* 9 (2006), S. 135–138
- [Tijssen 2010] TIJSSSEN, Robert J. W.: Discarding the 'Basic Science/Applied Science' Dichotomy: A Knowledge Utilization Triangle Classification System of Research Journals. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 9 (2010), S. 1842–1852
- [Toynbee 1947] TOYNBEE, Arnold J.; SOMERVELL, D. S. (Hrsg.): *A Study of History; Abridgement of Volumes I-VI*. Bd. I. Oxford University Press, 1947
- [TRACES 1968] TRACES: *Technology in Retrospect and Critical Events in Science [TRACES]*. Illinois Institute of Technology Research Institute : National Science Foundation, 1968
- [Tunger 2005] TUNGER, Dirk: Vergleich der Inhalte - Scopus und Science Citation Index. Ist mehr oder weniger Inhalt besser? In: *Password* 10 (2005), S. 17–19
- [Valkimadi u. a. 2009] VALKIMADI, Politimi E.; KARAGEORGOPOULOS, Drosos E.; VLIAGOFTIS, Harissios ; FALAGAS, Matthew E.: Increasing dominance of English in publications archived by PubMed. In: *Scientometrics* 81 (2009), Nr. 1, S. 219–223
- [Verbeek u. a. 2002] VERBEEK, Arnold; DEBACKERE, Koenraad; LUWEL, Marc; ANDRIES, Petra; ZIMMERMANN, Edwin ; DELEUS, Filip: Linking science to technology: Using bibliographic references in patents to build linkage schemes. In: *Scientometrics* 54 (2002), Nr. 3, S. 399–420
- [Veselago 1968] VESELAGO, Viktor: Electrodynamics of Substances with simultaneously negative values of Sigma and Mu. In: *Soviet Physics Uspekhi-USSR* 10 (1968), S. 509–514
- [Wallin 2005] WALLIN, Johan A.: Bibliometric Methods: Pitfalls and Possibilities. In: *Pharmacology & Toxicology* 97 (2005), S. 261–275
- [Warner 2000] WARNER, Julian: A critical review of the application of citation studies to the Research Assessment Exercises. In: *Journal of Information Science* 26 (2000), Nr. 6, S. 453–460
- [Watts u. Porter 1997] WATTS, Robert J.; PORTER, Alan L.: Innovation Forecasting. In: *Technological Forecasting and Social Change* 56 (1997), S. 25–47
- [Weingart 2001] WEINGART, Peter: *Die Stunde der Wahrheit. Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft*. Velbrück Wissenschaft, 2001
- [Weingart 2005] WEINGART, Peter: Impact of bibliometrics upon the science system: Inadvertent consequences? In: *Scientometrics* 62 (2005), Nr. 1, S. 117–131

Literaturverzeichnis

- [Weinstock 1971] WEINSTOCK, M.: Citation Indexes. In: KENT, A. (Hrsg.); LANCOUR, H. (Hrsg.): *Encyclopedia of Library and Information Sciences*. Dekker, 1971, S. 16–40
- [Wengenmayr 2008] WENGENMAYR, Roland: Das Weltgedächtnis der Wissenschaft. In: *Forschung & Gesellschaft* 2 (2008), S. 66–71
- [Wenzel 2008] WENZEL, Uwe J.: Die Schönheit der Blasen und der Reiz der Kurven; Was ist eigentlich Zukunftsforschung? In: *Neue Zürcher Zeitung* 1. November (2008), Online Edition
- [West 2010] WEST, Jevin D.: Learn from game Theory. In: *Nature* 465 (2010), S. 871–872
- [White u. a. 2001] WHITE, S R.; SOTTOS, N R.; GEUBELLE, P H.; MOORE, J S.; KESSLER, M R.; SRIRAM, S R.; BROWN, E N. ; VISWANATHAN, S: Autonomic healing of polymer composites. In: *Nature* 409 (2001), März, S. 794-797
- [Whitfield 2008] WHITFIELD, John: Group Theory. In: *Nature* 455 (2008), S. 720–723
- [WIPO 2007] WIPO (Hrsg.): *WIPO Patent Report: Statistics on Worldwide Patent Activities*. World Intellectual Property Organization, 2007. – abrufbar unter: http://www.wipo.int/export/sites/www/freepublications/en/patents/931/wipo_pub_931.pdf (abgerufen am: 29. Juli 2008; 17:15 Uhr)
- [Zhang 2009] ZHANG, Chun-Ting: A proposal for calculating weighted citations based on author rank. In: *EMBO Reports* 10 (2009), Nr. 5, S. 416–417

Danksagung

Ich hätte diese Dissertation nicht fertigstellen können ohne die Hilfe vieler Anderer. Mein besonderer und erster Dank geht an meine Eltern und meinen Bruder, die mich stets in meinen Vorhaben unterstützt haben. Danke an meinen Großvater, Aleksandar Manić für seine inspirierenden Worte. Auch wenn sie nur etwas mehr als das letzte Jahr meiner Promotion mitbekommen hat, war sie mir doch stets Inspiration und Stütze zugleich, meine Freundin Judith, liebenden Dank auch dir. Meinem Doktorvater Herrn Professor Wolfgang G. Stock, ohne den ich diese Dissertation nicht hätte beginnen können, danke ich für das stets offene Ohr, wenn ich Rat gebraucht habe, und ein wachsames Auge beim Lesen des Manuskripts. Für letzteres und für die Bereitschaft der Reise, danke ich meinem Zweitgutachter, Herrn Professor Christian Schlögl von der Universität Graz. Ich danke Maximilian Böhringer für einen interessanten Hinweis, der ganz am Anfang stand. Für Hilfe bei den ersten Schritten danke ich Dirk Tunger und Stefanie Haustein. Dank auch meinen Kollegen am Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT, dort ganz besonders Herrn Stefan Reschke für so manches interessante Gespräch und interessante Einsichten und Herrn Dr. Marcus John für die viele Tipps, Programme und geduldige Erklärungen. Einen großen Dank auch an Frau Siegrid Hecht-Veenhuis für das sorgfältige Lesen des Manuskripts und das Ausmerzen hartnäckiger Fehler. Vielen Dank auch an Herrn Professor Dr. Uwe Wiemken, Institutsleiter des INT, und Herrn Dr. Joachim Schulze, meinen Abteilungsleiter. Auch sie waren zwei stützende Pfeiler dieser Dissertation. Ich danke meinen Studenten, hier besonders Frank Fritsche, der maßgeblich an den Skripten und Tools mitgearbeitet hat und inzwischen mein Kollege geworden ist. Für die Bildgestaltung des Covers danke ich Herrn Horst Schneider. Zuletzt möchte ich all den Leuten danken, die mich immer wieder gefragt haben: „Na? Wie weit bist du denn mit deiner Diss???“ Danke, diese Fragen waren stets kleine Motivationen. Ich bin mir sicher, dass ich diese Liste noch lange fortführen könnte, aber stattdessen möchte ich an dieser Stelle vielen, vielen Dank auch jenen aussprechen, die ich an dieser Stelle nicht namentlich erwähnt habe. Danke für Hilfe, Gespräch und Unterstützung.

Kurzer Lebenslauf des Autors

- 1986-1990: Besuch der Grundschule Reichsgrafenstrasse in Wuppertal.
- 1990-1999: Besuch des Gymnasiums Bayreuther Strasse in Wuppertal und Abschluß des Abiturs.
- WS 2000/2001: Beginn des Magisterstudiums Neuere und Neueste Geschichte einschließlich Landesgeschichte im Hauptfach, sowie Politikwissenschaft, Informationswissenschaft und Medienwissenschaft in den Nebenfächern.
- Juli - Sept. 2005: Forschungsaufenthalt auf dem Balkan; Quellen- und Literatursuche für die Magisterarbeit.
- WS 2005/2006: Abschluss des Studiums mit der Verleihung des Titels Magister Artium.
- Seit Nov. 2006: Beginn der Promotion im Fach Informationswissenschaft, Beginn der Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer INT in Euskirchen.
- Seit SoSe 2007: Lehraufträge für die Abteilung Informationswissenschaft der Universität Düsseldorf und an der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg im Bereich „Bibliometrische Analysen“ und „Projektmanagement“.
- SoSe 09 - SoSe 10: Angestellt als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Informationswissenschaft der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf.

Für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Forschung ist eine fundierte Planung zukünftiger Forschungsvorhaben von großer Bedeutung. Diese Planung wird meist von Fachleuten unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen durchgeführt. Dabei handelt es sich meist um rein qualitative Einschätzungen. Die in dieser Arbeit entwickelte Footprintanalyse ergänzt solche Einschätzungen um quantitative Methoden aus dem Bereich der Bibliometrie.

Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT erstellt einen umfassenden Überblick über die allgemeine Forschungs- und Technologielandschaft. Vertieft wird der allgemeine Überblick durch eigene Fachanalysen und -prognosen auf ausgewählten Technologiegebieten. Außerdem führt das Institut theoretische und experimentelle Arbeiten durch.

Der Autor Dr. Miloš Jovanović hat an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf Neuere Geschichte, Politik-, Medien- und Informationswissenschaft studiert. Nach dem erfolgreichen Abschluss promovierte er im Fach Informationswissenschaft. Die vorliegende Arbeit stellt seine Dissertationsschrift dar. Er forscht auf dem Gebiet der technologischen Vorausschau und Indikatorentwicklung.

ISBN 978-3-8396-0316-1



9 783839 603161